

MARCOS BENEDITO SCHIMALSKI

**MONORESTITUIÇÃO: UMA METODOLOGIA PARA GERAÇÃO RÁPIDA
DE MAPEAMENTO URBANO DIGITAL A BAIXO CUSTO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Ciências
Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em
Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.

Orientadores: Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita
Prof.^a Dr.^a Claudia Robbi Sluter

CURITIBA
2001

**“MONORESTITUIÇÃO: UMA METODOLOGIA PARA
GERAÇÃO RÁPIDA DE MAPEAMENTO URBANO DIGITAL A
BAIXO CUSTO”**

POR

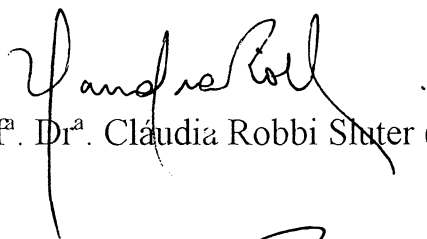
MARCOS BENEDITO SCHIMALSKI

Dissertação nº 156 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade
Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 01 de outubro de 2001.




Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita (UFPR)
Orientador e Presidente



Prof.ª Dr.ª Cláudia Robbi Sluter (UFPR) - Orientadora



Prof. Dr. Hans-Peter Bähr - Membro (Universidade de Karlsruhe)



Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner – Membro (UFPR)

Dedico:

A Deus, por ter me concedido saúde, inteligência e determinação para a composição e conclusão deste trabalho.

A minha querida esposa Leila.

Aos meus queridos pais Paulo e Antonia.

Aos amigos e todos aqueles que vivenciaram as lutas para concretização deste trabalho.

“O que lavra a sua terra se fartará de pão...” (Pv 12:11)

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores Professores Edson Aparecido Mitishita e Claudia Robbi Sluter pela oportunidade da realização deste trabalho e também pela orientação e incentivo.

Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas por estarem sempre dispostos a auxiliar.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro fornecido através da bolsa de mestrado.

A Empresa Esteio Engenharia S.A pelo fornecimento das aerofotos utilizadas neste trabalho.

A todos os amigos e colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas por estarem sempre solidários nas horas difíceis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1.0 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	2
2.0 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 NECESSIDADE DE CARTOGRAFIA.....	4
2.2 CONCEITOS BÁSICOS EM CARTOGRAFIA.....	5
2.3 TRANSMISSÃO CARTOGRÁFICA.....	6
2.4 PROJETO DA SIMBOLOGIA CARTOGRÁFICA.....	7
2.4.1 Conteúdo do Mapa	8
2.4.2 As Características da Geo-Informação	9
2.4.3 Necessidades do Usuário	9
2.4.4 Variáveis Visuais.....	9
2.4.5 Leis Psico-Físicas	11
2.4.6 Produção e Custos	11
2.5 TIPOS DE SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS	11
2.6 CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA	12
2.6.1 Cadd.....	13
2.6.2 Am/Fm	14
2.6.3 Sistemas de Informações Geográficas.....	15
2.7 ESTRUTURA DOS DADOS GEOGRÁFICOS	18
2.7.1 Estrutura de Dados Vetoriais	19
2.7.2 Estrutura de Dados Matriciais ou Raster	19
2.8 FOTOGRAMETRIA.....	20

2.8.1 Fotointerpretação.....	21
2.8.2 Obtenção de Informações Métricas.....	23
2.8.3 Sistemas de Referências.....	23
2.8.4 Referencial Instrumental.....	24
2.8.5 Referencial Fiducial.....	25
2.8.6 Referencial Fotogramétrico	26
2.8.7 Equações de Colinearidade.....	27
2.8.8 Equações de Colinearidade Inversa.....	30
2.8.9 Erros Sistemáticos da Imagem.....	31
2.8.10 Orientação Exterior de uma Aerofoto	32
2.9 MONORESTITUIÇÃO DIGITAL	35
2.9.1 Aquisição das Aerofotos.....	37
2.9.2 Orientações Necessárias das Aerofotos.....	37
2.10 Informação Altimétrica	39
3.0 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.2 MATERIAIS	43
3.3 METODOLOGIA.....	43
3.3.1 Pesquisa de Material de Apoio	44
3.3.2 Adequação das Aerofotos	44
3.3.3 Geração do Modelo Digital do Terreno.....	45
3.3.4 Definição das Representações Cartográficas.....	47
3.3.5 Restituição Digital	47
3.3.5.1 Geração do arquivo digital.....	47
3.3.5.2 Retificação.....	50
3.3.6 Reambulação	51
3.3.7 Edição dos Arquivos Vetoriais.....	51
3.3.8 Criação Topológica	51
3.3.9 Análise dos Arquivos Gerados.....	52
3.3.10 Implantação do Sistema de Informações Geográficas	52

3.3.11 Customização do Sistema de Informações Geográficas.....	53
3.3.12 Criação de Interface para Consulta ao Banco de Dados.....	54
3.3.13 Integração do SIG com a Interface de Consulta	54
4.0 RESULTADOS.....	56
4.1 DIAGNÓSTICO DAS NECESSIDADES	56
4.2 RESULTADOS DAS ORIENTAÇÕES DAS AEROFOTOS.....	57
4.3 VETORIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO PLANIMÉTRICA	61
4.4 RETIFICAÇÃO DOS ARQUIVOS DIGITAIS	61
4.5 REAMBULAÇÃO	62
4.6 EDIÇÃO GRÁFICA	63
4.7 RESULTADOS DA MONORESTITUIÇÃO DIGITAL.....	64
4.8 CUSTOMIZAÇÃO DO SIG.....	69
5.0 CONCLUSÕES	73
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	78
ANEXO 01	79
ANEXO 02	80
ANEXO 03	82
ANEXO 04	84
ANEXO 05	85
ANEXO 06.....	88

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – MODELO DE COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA	6
FIGURA 02 – FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROJETO DA SIMBOLOGIA CARTOGRÁFICA	8
FIGURA 03 – VARIÁVEIS VISUAIS SEGUNDO BERTIN.....	10
FIGURA 04 – SÍMBOLOS PICTÓRICOS	12
FIGURA 05 – RELACIONAMENTO DE ELEMENTOS GRÁFICOS COM SEUS RESPECTIVOS ATRIBUTOS.....	14
FIGURA 06 – ORGANOGRAMA DE APLICAÇÕES DE UM SIG.....	16
FIGURA 07 – ESTRUTURA DE DADOS VETORIAL	19
FIGURA 08 – ESTRUTURA DE DADOS MATRICIAL	20
FIGURA 09 – ETAPAS DA FOTOINTERPRETAÇÃO	22
FIGURA 10 – DISPOSIÇÃO DOS PLANOS DO NEGATIVO E DO DIAPOSITIVO	24
FIGURA 11 – MARCAS FIDUCIAIS DE DUAS CÂMARAS.....	26
FIGURA 12 – HIPÓTESE DAS EQUAÇÕES DE COLINEARIDADE.....	27
FIGURA 13 – REFERENCIAL GEODÉSICO LOCAL EM RELAÇÃO AO FOTOGRAMÉTRICO	29
FIGURA 14 – TRAJETÓRIA DO RAIO DE LUZ NO ESPAÇO.....	31
FIGURA 15 – MONORESTITUIDOR ANALÍTICO.....	35
FIGURA 16 – CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRAGEM DE PONTOS	40
FIGURA 17 – EXEMPLO DE MALHA IRREGULAR (TIN) E REGULAR.....	41
FIGURA 18 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
FIGURA 19 – MDT DA ÁREA DE ESTUDO.....	46
FIGURA 20 – AEROFOTO DIGITAL NO GEOGRAPHICS	48
FIGURA 21 – LEITURA DE MARCA FIDUCIAL	48
FIGURA 22 – VETORIZAÇÃO DA PLANIMETRIA.....	49
FIGURA 23 – LIMPEZA TOPOLÓGICA.....	51
FIGURA 24 – ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SIG	53
FIGURA 25 – SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS CRIADOS PARA A REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES	63
FIGURA 26 – INTERFACE CUSTOMIZADA DO PROGRAMA GEOGRAPHICS	70
FIGURA 27 – FORMULÁRIO PRINCIPAL DA INTERFACE DE CONSULTA AO BANCO DE DADOS	71
FIGURA 28 – SUB-FORMULÁRIO PARA VERIFICAÇÃO VISUAL	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – ESTRUTURA DE UM ARQUIVO CADD	13
TABELA 02 – ARQUIVOS OBTIDO A PARTIR DA GRADE REGULAR	46
TABELA 03– RESÍDUOS (mm) NAS LEITURAS DAS MARCAS FIDUCIAS DA AEROFOTO 290	58
TABELA 04 – RESÍDUOS (mm) NAS LEITURAS DAS MARCAS FIDUCIAS DA AEROFOTO 291	58
TABELA 05 – RESÍDUOS (m) NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL APROXIMADA DA AEROFOTO 290	59
TABELA 06 – RESÍDUOS (m) NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL APROXIMADA DA AEROFOTO 291	59
TABELA 07 – RESÍDUOS NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL EXATA DA AEROFOTO 290	60
TABELA 08 – RESÍDUOS NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL EXATA DA AEROFOTO 291	60
TABELA 09 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS QUADRAS DEFINIDAS	65
TABELA 10 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS CERCAS E MUROS	66
TABELA 11 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS EDIFICAÇÕES	68

LISTAS DE SIGLAS

GIS	- GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
SIG	- SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
CADD	- COMPUTER AIDED DESIGN AND DRAFTING
AM/FM	- AUTOMATED MAPPING/FACILITIES MANAGEMENT
DTM	- DIGITAL TERRAIN MODEL
MDT	- MODELO DIGITAL DO TERRENO
TIN	- TRIANGULAR IRREGULAR NETWORK
UTM	- UNIVERSAL TRANSVERVA DE MERCATOR
OLE	- OBJECT LINKING AND EMBEDDING

RESUMO

A disseminação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), encontra usuários em diversos setores da economia, principalmente, aqueles relacionados à prestação de serviços à população. Nesta modalidade se enquadram as empresas de fornecimento de energia/saneamento e as prefeituras. Estas últimas, porém, carecem de recursos financeiros a este fim, bem como, de pessoal qualificado para a manipulação/atualização do mapeamento e a utilização deste em um SIG. Em vista a este panorama, faz-se necessário o emprego de técnicas para a produção de mapas digitais que apresentem a melhor relação custo/benefício no que diz respeito à precisão e custos. Neste contexto, a Fotogrametria Digital, especificamente a Monorestituição, apresenta atrativos no que diz respeito à confiabilidade, rapidez e facilidade na obtenção das informações, com conseqüente redução de custos. Para a realização deste trabalho foram utilizados dois programas: o Monorestituídor Digital e o Geographics, ambos funcionando em um computador pessoal. A informação planimétrica obtida foi comparada com a equivalente obtida pela Fotogrametria Convencional. São destacadas as vantagens inerentes ao processo de obtenção das informações geográficas, bem como, a praticidade proveniente da geração do mapeamento no Geographics, uma vez que será eliminada a necessidade de disponibilização dos dados em outro formatos para a utilização no SIG. Adicionalmente, foi desenvolvida uma metodologia para representação das edificações com a utilização de símbolos cartográficos pontuais.

ABSTRACT

The dissemination of the Geographic Information System (GIS) has users in a vast section of the economy, mainly the ones who offer services to the community. The companies of electricity, and sanitation and to city halls are in this group. These ones, thus need money as well as qualified people to the manipulation, updating of the mapping and the utilization of this in a GIS. Having this panorama some techniques have to be used for the production of digital maps which show a better relation cost – benefit regarding the exactness and cost. In this context, a digital photogrametry, the Digital Mono-Plotter specially presents attraction concerning trust, speed and availability to get the information as a consequence of the reduction of the cost. Two programs were used to make this job, the Digital Mono-Plotter and the Geographics, both working in a personal computer. To conclude the process, the planimetric information was compared to an equivalent got by conventional process. The advantages in the process of obtaining geographic information are emphasized as well as the practicability of the mapping in the Geographics once there will not be a need of the data in another way to the use in the GIS. Additionally, a methodology was developed to the representation of the edification using cartographic symbols points.

1.0 INTRODUÇÃO

Na sua luta pela vida, o homem procura adaptar-se ao meio e transformá-lo, delimitando o espaço onde desenvolverá a suas atividades. Durante séculos, pouca importância se deu a este fato. Porém, o incrível incremento populacional nas áreas urbanas e a maneira pouco ordenada com que estes espaços tem sido ocupados, têm preocupado as autoridades responsáveis, gerando questões relacionadas ao planejamento e gerenciamento da ocupação do espaço urbano. Segundo SCHEINOWITZ(1983), isto se deve ao fato de que as cidades sempre catalisaram os sonhos das massas atraídas pela imagem de conforto oferecido. Isto impulsionou o fenômeno conhecido como êxodo rural. O resultado é que a participação das cidades com mais de 100.000 habitantes na população mundial passou de 1,7% em 1880 para 14,66% em 1960.

Com os incrementos populacionais das áreas urbanas, a questão a ser respondida tornou-se extremamente complexa, mesmo para aquelas cidades cuja população é inferior a 100.000 habitantes. Como então manipular, diagnosticar e propor soluções para essa grande massa de dados? Como obter informações rápidas e precisas provenientes desta massa de dados?

O surgimento de questões desta ordem, aliado a outro fator decisivo: o desenvolvimento tecnológico alcançado pela informática habilitou mesmo para as pequenas cidades, a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG (GIS – Geographics Information System). O SIG, que já está sendo adotado por algumas municipalidades, encontrou também nas fornecedoras de serviços de telefonia, saneamento e eletricidade grande utilidade.

Contudo, na implantação de um SIG, uma das primeiras etapas a ser alcançada é justamente a elaboração de bases cartográficas digitais das áreas de interesse. A técnica que é mais utilizada para este fim, atualmente, devido à rapidez na obtenção dos dados cartográficos, é o aerolevantamento. Estes projetos são executados por empresas que utilizam equipamentos de custo elevado e mão-de-obra especializada, sendo que isto restringiu a expansão desta técnica no país. Neste contexto, a

Monorestituição Digital surge como alternativa, pois não necessita de equipamentos caros e pessoal altamente treinado. É possível então, atualizar ou mesmo gerar bases cartográficas digitais a partir da aquisição das aerofotos em formato digital.

1.1 OBJETIVOS

Utilizando-se dos recursos de microinformática e de ferramentas da Fotogrametria, Cartografia e Sistemas de Informações Geográficas:

- 1) Avaliar a utilização da Monorestituição Digital no mapeamento de áreas urbanas em escala grande;
- 2) Desenvolver uma metodologia para o mapeamento de áreas urbanas em escala grande, substituindo o traçado do contorno das edificações por símbolo cartográfico pontual;
- 3) Avaliar a utilização do item 2 no processo de geração de bases cartográficas digitais, verificando-se a sua funcionalidade;
- 4) Analisar a acurácia do mapeamento digital obtido pela Monorestituição Digital, através da comparação com o mapeamento obtido através da estereorestituição (Restituição Convencional);
- 5) Verificar a funcionalidade da aquisição de dados cartográficos diretamente em um SIG.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A implementação da metodologia proposta para mapeamento de baixo custo em escalas grandes (maiores que 1:5.000), se constitui em uma ferramenta importante, principalmente, para as pequenas prefeituras que poderão viabilizar políticas de implantação de bases cartográficas digitais atualizáveis dentro de suas limitações financeiras.

As bases cartográficas digitais geradas no programa Geographics, da empresa Bentley, solucionarão o problema relacionado à integração do mapeamento digital em um SIG, no que diz respeito ao formato dos dados cartográficos digitais. Este programa disponibiliza as ferramentas necessárias à coleta dos dados que possibilitou a retificação do arquivo gerado através da monorestituição digital. Aliado a isso, desenvolveu-se uma solução que integre um gerenciador de banco de dados (Access) com o programa Geographics. Com isso, foram simplificadas tarefas e facilitado o treinamento do pessoal que utilizará o Sistema de Informações Geográficas.

A utilização de símbolos cartográficos pontuais substituindo do traçado de edificações, equaciona o problema das prefeituras, pois estas utilizam a indicação fiscal dos imóveis (lotes urbanos) para relacionar os seus contribuintes. Para as empresas prestadoras de serviços de eletricidade, telefonia e saneamento são necessário tão somente à localização espacial de seus clientes, sendo necessário e suficiente para este fim um par de coordenadas (ponto).

Por fim, a monorestituição digital não necessita de equipamentos de alto custo e de pessoal altamente treinado, passando desta maneira a ser importante ferramenta para a geração de dados cartográficos de maneira rápida, propiciando aos planejadores urbanos a implementação de um SIG, que auxiliará na tomada de decisões, resultando uma melhor qualidade de vida aos moradores das cidades.

2.0 REVISÃO DA LITERATURA

Com a revisão bibliográfica que segue tem-se por objetivo apresentar os conceitos e fundamentos básicos utilizados na geração do mapeamento (Monorestituição Digital) e a sua integração em um Sistema de Informações Geográficas.

2.1 NECESSIDADE DE CARTOGRAFIA

Segundo LINDGREN (1978), é de se afirmar que toda e qualquer cidade possua um acervo de informações que permita detectar sua estrutura interna. Distingue ainda que existe para o planejador urbano duas ações claramente distintas:

- *Processo de Planejamento*: no qual são delineados os objetivos e instrumentos existentes e a maneira adequada para usá-los;
- *Processo de Improvisação*: onde são claros somente os instrumentos disponíveis e a sua utilidade.

No primeiro processo, o planejador visualiza o espaço no qual suas decisões serão implementadas, podendo prever antecipadamente os efeitos consequentes de sua ação, bem como os parâmetros necessários a materialização de suas decisões, que envolverão tempo, recursos humanos e financeiros. No segundo processo, o planejador não terá uma fonte de informações seguras sobre o espaço de atuação, e as suas decisões poderão produzir resultados inesperados, não contemplando o que havia anteriormente idealizado.

Como a quantidade de informações a serem manipuladas aumenta com o número de habitantes, a tomada de decisão torna-se fonte de permanente preocupação de toda a população e, principalmente, de seus procuradores: as municipalidades.

A importância dos mapas para o planejamento é notória, porém, esbarrava na questão de manipulação: os mapas em formato analógico (papel) e a quantidade de informações das mais diferentes procedências. Porém, o SIG surge como uma

ferramenta operacional para manipular estes mapas e cruzar as informações das mais diferentes fontes, apresentando o resultado de tais cruzamentos.

A relevância dos mapas e os avanços na cartografia digital, mais especificamente o SIG, reforçam ainda mais a necessidade de se obterem metodologias simples para a geração/atualização de bases cartográficas digitais, que atendam as necessidades dos usuários no que diz respeito a precisão, custos e facilidades.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS EM CARTOGRAFIA

O conceito de mapa é adotado como sendo a representação cartográfica dos fenômenos naturais e humanos de uma área, dentro de um sistema de projeção e em determinada escala, de modo a traduzir, com fidelidade, suas formas e dimensões. Portanto, qualquer documento cartográfico que represente um tema referente a uma área é um mapa (SANTOS, 1989).

Qualquer abstração da superfície terrestre, é uma imagem, que está relacionada, em tamanho, com o objeto representado. Assim, a representação da superfície terrestre sob a forma de mapa deve ser bastante reduzida, dentro de um valor proporcional. Este valor é denominado de escala. Baseado nisto, pode-se afirmar que escala é a relação entre o tamanho dos objetos em um mapa e o seu tamanho correspondente na superfície terrestre.

Os mapas de grande e média escalas, em nosso país, são construídas com coordenadas plano-retangulares. Estas coordenadas formam um quadriculado relacionado à projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). O espaço entre as linhas do quadriculado é conhecido como equidistância do quadriculado e será maior ou menor de acordo com a escala da carta. O sistema de medida usado é o linear em metros, cujos valores são sempre números inteiros, sendo registrados nas margens da carta (SANTOS, 1989).

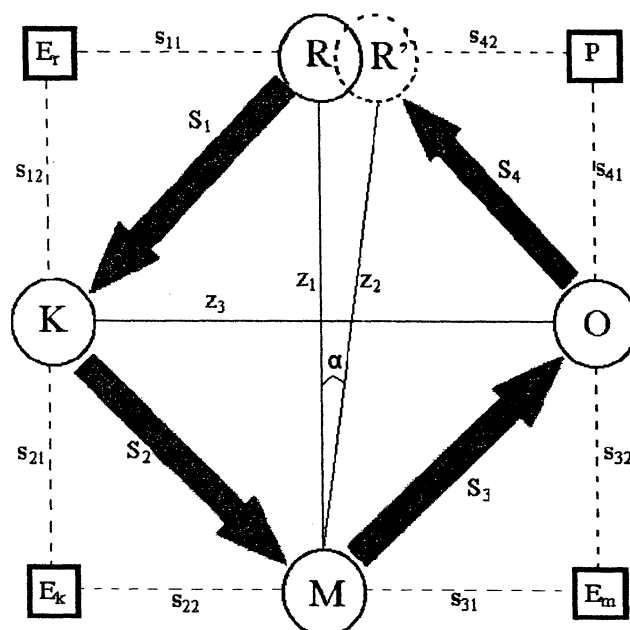
2.3 TRANSMISSÃO CARTOGRÁFICA

Para RATAJSKI (1977), o mapa é o produto resultante da Cartografia e serve como um meio de transmitir informações espaciais (do meio físico), bem como seus relacionamentos. Esta transmissão de informações para o usuário através de um mapa depende de uma série de fatores. Consideram-se como fatores importantes àqueles relacionados ao desenvolvimento das ciências que provêem os recursos necessários a representação da realidade, o desenvolvimento de tecnologias para este fim e o nível de conhecimento dos usuários dos mapas.

A Cartografia pode ser sub-dividida em dois segmentos básicos: um teórico, que é chamado de Cartologia e outro que diz respeito a Cartografia aplicada. RATAJSKI (1977) diz que Cartologia é uma ciência que estuda a expressão e transformação da informação física por meio de um mapa. Este processo ocorre através de três etapas básicas: teoria da transmissão cartográfica, conhecimentos de mapas e métodos cartográficos.

Baseado nestes conceitos, Ratajski elaborou um modelo da transmissão cartográfica. Este modelo é apresentado na Figura 1.

FIGURA 01 – MODELO DE COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA



FONTE: Ratajski (1977)

Através do modelo de comunicação cartográfica, percebe-se que a informação sobre a realidade física (R) é reconhecida através do processo de emissão informativa (E_r), que é selecionada por um observador direto (K), que é o cartógrafo. A quantidade de informação percebida pelo cartógrafo depende de fatores externos e psicológicos deste observador. As informações que são selecionadas e codificadas pelo cartógrafo (K) são transmitidas para um receptor (O) através de um canal, que é o mapa (M). A relação entre o cartógrafo (K) e o meio de transmissão (M) é chamada de Emissão de mensagem (E_k), que é composta por mensagem emitida (s_{21}) e mensagem percebida (s_{22}). Neste estágio ocorre a perda de informação que depende da eficiência da mensagem emitida. No próximo estágio, a emissão do mapa (E_m) transmite informação para o usuário (O) que, através de processos mentais (P), cria a sua percepção da realidade (R'). Esta percepção da realidade depende da habilidade de reconhecimento da mensagem (s_{41}) e a habilidade da imaginação (s_{42}). É claro que o mapa ideal é aquele cujo o grau de exatidão da transmissão (α) seja igual a zero.

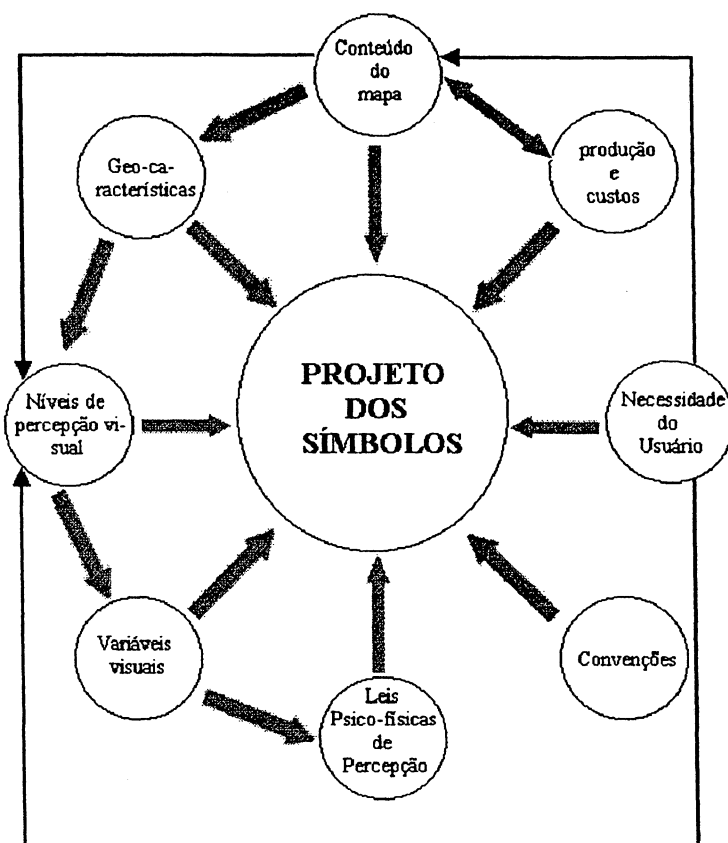
2.4 PROJETO DA SIMBOLOGIA CARTOGRÁFICA

Em um mapa, a abstração da realidade é obtida utilizando os símbolos cartográficos, que consistem de pontos discretos, linhas e áreas. Todos eles têm tamanho, forma e cor (KEATES, 1989).

Para BOS (1984), o projeto dos símbolos é um dos aspectos mais fundamentais na produção de um mapa e também um dos mais difíceis. O projeto dos símbolos é uma atividade de criação gráfica que representará feições ou conceitos em um mapa-resultado. O mapa resultado da interpretação do seu criador, transmitirá informações a um usuário a cerca da realidade percebida.

A Figura 02 apresenta os fatores envolvidos na criação de símbolos cartográficos.

FIGURA 02 – FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROJETO DA SIMBOLOGIA CARTOGRÁFICA



FONTE: Bos (1984).

Através da Figura 02, fica evidenciado que o projeto de símbolos cartográficos é influenciado por vários fatores e que alguns deles são dependentes. A seguir estes fatores são explanados.

2.4.1 Conteúdo do Mapa

O conteúdo do mapa é o fator mais importante a ser considerado no projeto da simbologia, e isto depende diretamente das necessidades do usuário. Além dessas necessidades, tem de ser consideradas a utilidade e confiabilidade dos dados a serem mapeados, a escala e projeção do mapa, avaliação das facilidades para a produção e condições econômicas.

2.4.2 As Características da Geo-Informação

Após a determinação do conteúdo do mapa, os dados geográficos a serem representados devem ser considerados, utilizando quatro funções para esta análise:

- *as características planimétricas (ou dimensionais)*: a geo-informação(informação geográfica) poderá ser representada por um ponto, linha ou área. Isto dependerá principalmente da escala do mapa e as dimensões a serem representadas;
- *níveis de significância*: a geo-informação poderá ser agrupada por níveis hierárquicos, relacionando os dados de maneira qualitativa, quantitativa e ordinal;
- *estrutura organizacional*: os dados serão agrupados de tal maneira a reunir características comuns;
- *outras características*: o projeto final dos símbolos deverá ser coeso e simples, de tal maneira que o usuário final possa compreender facilmente o mapa.

2.4.3 Necessidades do Usuário

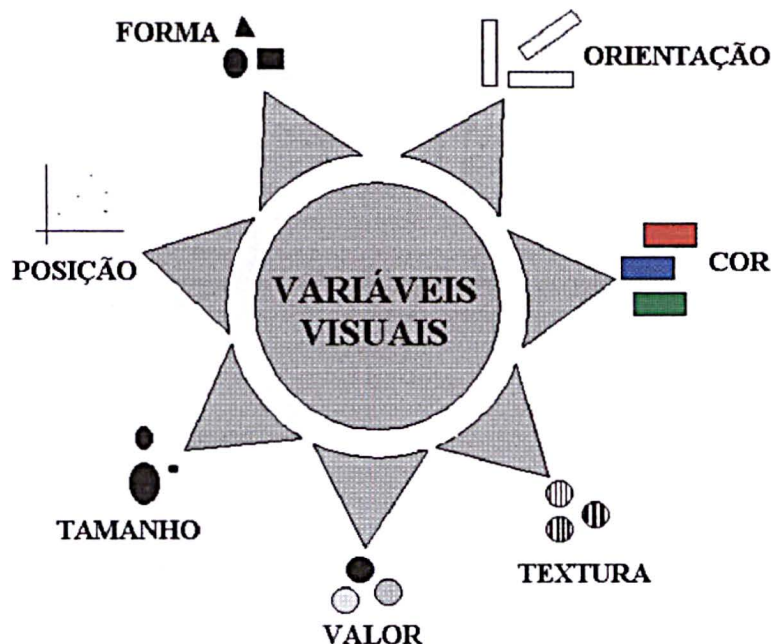
O projeto cartográfico deverá atender as necessidades do usuário final que por exemplo, necessitará de informações direcionadas (específicas) como aquelas relacionadas a agricultura, educação, geologia, planejamento urbano entre outros possíveis usos.

2.4.4 Variáveis Visuais

BERTIN (1986) diz que no projeto de um símbolo, este pode apresentar além da variação bidimensional, outras variações que são visuais. Estas variáveis visuais

totalizam sete (Figura 03) e dizem respeito a: forma, orientação, cor, textura, valor, tamanho e posição (x,y).

FIGURA 03 – VARIÁVEIS VISUAIS SEGUNDO BERTIN



FONTE : Bos (1984)

BERTIN (1983), agrupando as variáveis visuais obteve para os símbolos quatro níveis hierárquicos com relação a percepção destes:

- *percepção associativa*: os símbolos são vistos individualmente e são de importância similar;
- *percepção seletiva*: os símbolos podem ser visualmente arranjados em grupos;
- *percepção ordinal*: os símbolos podem ser classificados segundo uma ordem;
- *percepção quantitativa* : os símbolos podem ser classificados de acordo com o tamanho.

2.4.5 Leis Psico-Físicas

A utilização das variáveis visuais na composição dos símbolos cartográficos, deve não gerar dúvidas para o usuário do mapa. Isto quer dizer, que o usuário não necessita consultar continuamente a legenda, e que no instante de interpretação dos símbolos não ocorrem dúvidas a respeito do seu significado.

2.4.6 Produção e Custos

O advento da Cartografia Digital simplificou em muito os processos produtivos dos mapas o que implicou em redução de custos. Atualmente os programas computacionais provêm solução suficiente para a inserção das variáveis visuais no projeto dos símbolos, possibilitando muitas variantes. A impressão destes produtos é facilitada devido ao surgimento das impressoras de grande formato, chamadas de “plotters”.

2.5 TIPOS DE SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS

BOS (1984) classifica os símbolos cartográficos de acordo com sua forma e dimensões. Com relação a dimensão são classificados como:

- *Pontuais*: o tamanho da informação a ser representada em relação a escala do mapa é muito pequena;
- *Lineares*: a informação a ser representada tem característica linear;
- *Areaais*: a informação a ser mapeada tem área considerável em relação a escala do mapa.

Os símbolos podem ser classificados pela forma como:

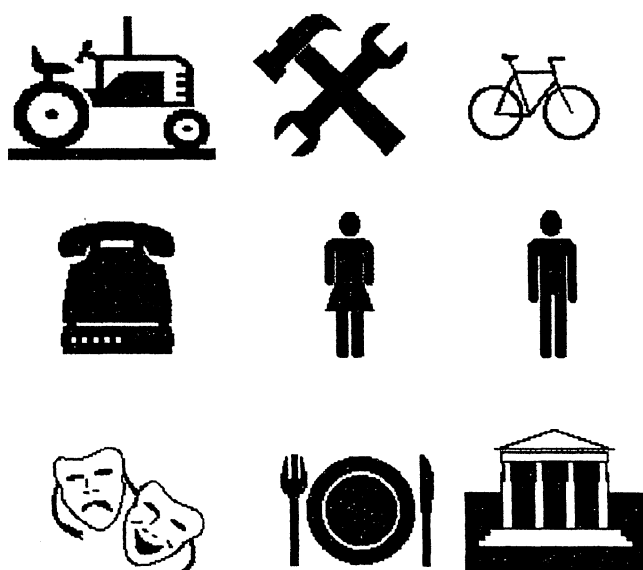
- *Pictoriais ou descritivos*: eles auxiliam o usuário do mapa, facilitando a consulta e sendo facilmente memorizados. Exemplos deste tipo de símbolo é a utilização de um avião para representar um aeroporto. A

desvantagem na utilização destes símbolos é que os mesmos podem encobrir outros detalhes no mapa e por serem maiores tem menor acuracidade no posicionamento da ocorrência que está sendo representada.

A Figura 04 apresenta exemplos dos símbolos pictoriais.

- *geométricos*: são símbolos nos quais utilizam-se formas regulares para a sua representação. Exemplos são o quadrado, círculo, triângulo e hexágono. Não são símbolos auto-explicativos e necessitam obrigatoriamente de uma legenda para o seu entendimento.

FIGURA 04 – SÍMBOLOS PICTÓRICOS



FONTE: Adaptação de Bos (1984)

2.6 CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA

Com poucas exceções, a realidade física (mundo real) a ser representada em um mapa digital, não é composto por partes lógicas e necessita ser abstraída, generalizada e adaptada as especificações no processo de criação da base cartográfica digital. A modelagem da realidade é de fundamental importância na criação desta base. Este processo, visa antes de tudo, atender as necessidades de cada usuário, e é bem

possível que com a abstração da realidade espacial, venham a ocorrer resultados diferentes para uma mesma realidade (FRANK e GOODCHILD, 1990).

Os padrões cartográficos atualmente utilizados para a criação e atualização de mapas digitais, surgiram para suprir as necessidades da Cartografia analógica e são restritos à tecnologia do papel e da caneta. É uma solução puramente visual e que visa facilitar o entendimento do usuário final (FONSECA&BORGES,1997).

Faz-se necessário diferenciar as soluções existentes, evidenciando termos comumente utilizados.

2.6.1 Cadd

O “Computer Aided Design and Drafting” (CADD) ou Desenho e Projeto Auxiliado por Computador, são programas computacionais utilizados para a produção de plantas digitais, entre elas os mapas. Estes programas disponibilizam todos os elementos gráficos necessários a produção de mapas: pontos, linhas, polilinhas, textos e símbolos. Estes elementos são referidos a um sistema de coordenadas, geralmente, planas. As feições são organizadas por níveis de informação (temas), que são um conjunto de elementos gráficos. A tabela 01 e apresenta um exemplo de uma estrutura de um arquivo gráfico digital.

TABELA 01 – ESTRUTURA DE UM ARQUIVO CADD

Tipos	Nível	Cor	Espessura	Fonte	Coordenadas
Linha	01	Amarelo	1	-	XY,XY
Linha	01	Azul	1	-	XY,XY
Polilinha	02	Vermelho	1	-	XY,...,XY
Texto	03	Azul	2	Times	XY
Símbolo	04	Verde	1	-	XY

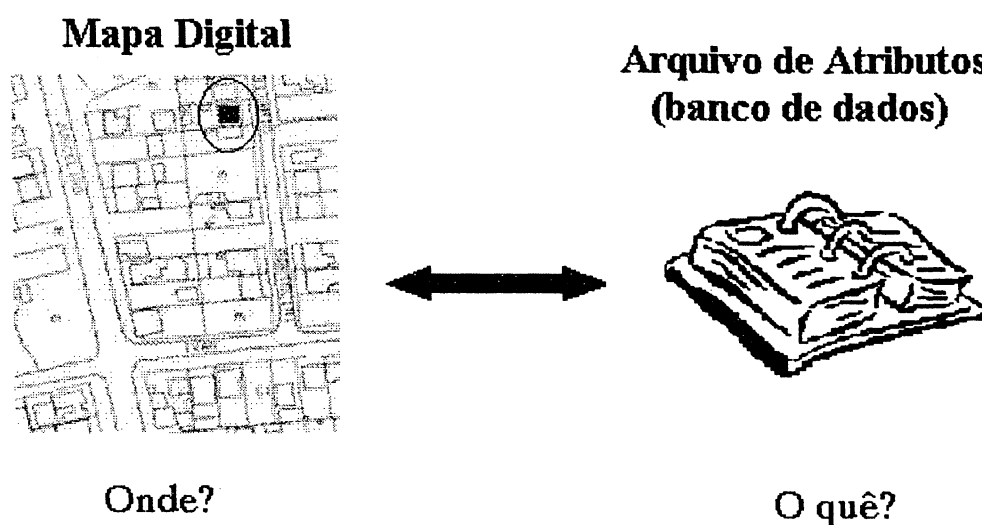
Os programas Cadd proporcionaram grande avanço na produção e manutenção de mapas reduzindo custos e tempo, adicionando ainda a facilidade de manipulação

dos mesmos. Contudo, estes programas não são capazes de analisar informações referentes as feições representadas ou mesmo realizar comparações entre as mesmas.

2.6.2 Am/Fm

Segundo KORTE (1997), “Automated Mapping (AM) e Facilities Management” (FM), é um programa Cadd que utiliza ferramentas para manipular mapas acrescido dos atributos dos dados referentes as feições específicas. Um exemplo, seria a armazenagem da localização e atributos relacionados a cada unidade fiscal urbana (lote) e as edificações que se localizam nesta unidade. Um Am/Fm utiliza elementos gráficos para representar feições cartográficas e organizá-las por temas. É superior a um programa Cadd, pois define relações entre os componentes do sistema através dos dados específicos de cada elemento representado no mapa. A Figura 05 mostra este relacionamento.

FIGURA 05 – RELACIONAMENTO DE ELEMENTOS GRÁFICOS COM SEUS RESPECTIVOS ATRIBUTOS



2.6.3 Sistemas de Informações Geográficas

Segundo BONHAM (1997), Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é um sistema computacional para gerenciamento de dados espaciais. Estes sistemas trabalham com dois espaços distintos:

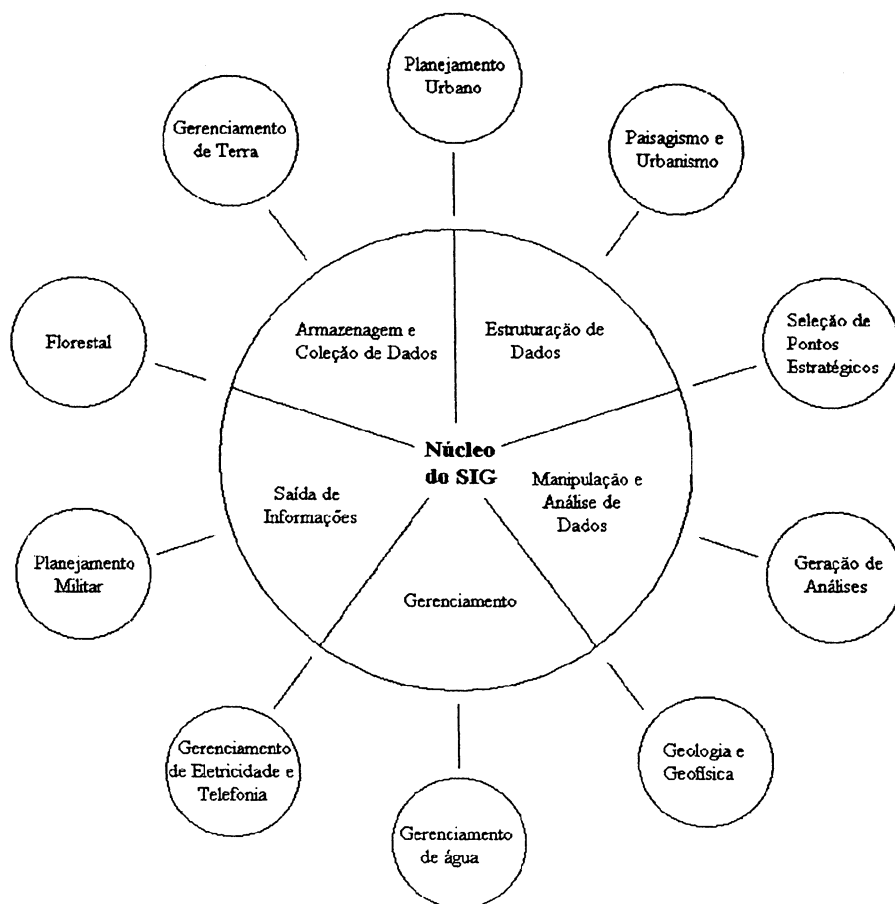
- *Espaço Geográfico*: implica que a localização dos dados seja conhecida ou possam ser calculadas em termos de coordenadas geográficas;
- *Espaço Informação*: implica que os dados sejam organizados para um desempenho ótimo, propiciando a produção de mapas coloridos, imagens, gráficos estatísticos, tabelas e respostas para as mais variadas consultas.

Um SIG é habilitado a trabalhar com o espaço geográfico e o de informação produzindo resultados provenientes do cruzamento dos dados destes dois espaços. Desta maneira, os usuários obterão a visualização espacial das ocorrências dos seus dados armazenados em um banco de dados.

Já para KIMERLING (1992), considerando um ponto de vista puramente técnico, um SIG pode ser definido como a integração de um conjunto de configurações de programas e equipamentos computacionais para a coleção, armazenagem, estruturação, manipulação, análise e visualização de dados espaciais referenciados a um sistema de coordenadas geográficas. Isto reflete que os componentes físicos de um SIG, bem como o seu desempenho e correto funcionamento, dependerão de computadores com melhor desempenho de processamento e de pessoal qualificado para a sua operação.

Baseado nesta definição, KIMERLING (1992) e nas possíveis aplicações para um SIG, elaborou uma provável estrutura para estes sistemas. Esta estrutura, que tem por núcleo o SIG, é mostrada na Figura 06.

FIGURA 06 – ORGANOGRAMA DE APLICAÇÕES DE UM SIG



FONTE : KIMERLING (1992)

Com relação aos componentes da Figura 06, pode-se dizer que:

- *Núcleo do SIG*: são os equipamentos e programas computacionais, banco de dados e o pessoal envolvido na operação, manutenção e gerenciamento do sistema;
- *Coleção e Armazenagem dos dados*: definição dos tipos de dados necessários para satisfazer os requerimentos do sistema. As informações são extraídas a partir do banco de dados, mapas e imagens digitais, bem como quaisquer outras observações sobre a superfície terrestre;
- *Estruturação de dados*: diz respeito a adequação (uniformização) dos dados, como por exemplo, a transformação de diferentes sistemas de projeção dos mapas para o Universal Transverso de Mercator (UTM);

- *Geração de Análise*: medir, comparar e matematicamente ou estatisticamente modelar os diferentes temas dos dados de tal maneira a prever, dada uma condição, um determinado fenômeno;
- *Saída de Informações*: possibilitar a impressão dos mapas resultados obtidos pelo SIG, dados analíticos, gráficos e quaisquer outros mapas digitais inseridos no sistema;
- *Gerenciamento do SIG*: possuir pessoal qualificado no que diz respeito a manutenção do sistema, como por exemplo, atualizações dos equipamentos e programas computacionais, manutenção de senhas de acesso, atualizações das informações inseridas no SIG, entre outras.

Considerando-se a visão de DAVIS (1997), que diz que existem várias definições para SIG, cada uma delas tenta privilegiar um aspecto de uma tecnologia, que estando no limite de várias áreas do saber, é percebida de prismas diferentes pelos especialistas de cada uma destas áreas. SIG são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica intrínseca à informação e indispensável para a sua análise. Então, o motivo da existência do SIG estaria centrado nos dados espaciais e da utilidade destes.

Ainda segundo DAVIS (1997), a coleta de dados referentes a distribuição espacial dos recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante nas atividades das sociedades organizadas. Como as informações se restringiam a mapas e documentos em papel, o acesso e manipulação eram facilitados, porém, a análise e combinação de diversos mapas e dados eram complexas. Os SIG são o resultado da consolidação dos avanços tecnológicos nas áreas de: computadores, banco de dados, computação gráfica, cartografia digital, geodésia, topografia, pesquisa operacional e otimização em redes.

DAVIS (1997) ressalta que um SIG não atenderá a todas as necessidades de um projeto mas normalmente deverá disponibilizar ferramentas para:

- *Representar graficamente informações de natureza espacial* sendo capaz de associar a esta informação gráfica (espacial), informação alfanumérica

tradicional. Esta representação deverá ser na forma vetorial (pontos, linhas e áreas) e ou arquivos rasterizados (imagens digitais);

- *Recuperar informações com base em critérios definidos pelo usuário;*
- *Realizar operações matemáticas com áreas, tais como união, intersecção e diferença;*
- *Restringir o acesso ao banco de dados espacial;*
- *Visualização dos dados geográficos na tela do computador;*
- *Interface amigável e de fácil interação com o usuário;*
- *Recuperação rápida das informações espaciais armazenadas;*
- *Possibilitar a entrada e saída dos dados espaciais de tal maneira que possam ser lidos por outros sistemas;*
- *Recursos para a atualização e manutenção dos dados: utilizando-se de periféricos tais como: “mouse”, mesa digitalizadora e “scanner”;*
- *Recursos para a geração de saídas e de resultados sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, disponibilizados para impressoras de pequeno e grande formato;*
- *Disponibilizar ferramentas para o desenvolvimento de aplicativos, atendendo as necessidades específicas de cada usuário. Para isto, deverá ser disponibilizada uma linguagem de programação, que possibilite entre outras coisas, a customização da interface do SIG com o usuário.*

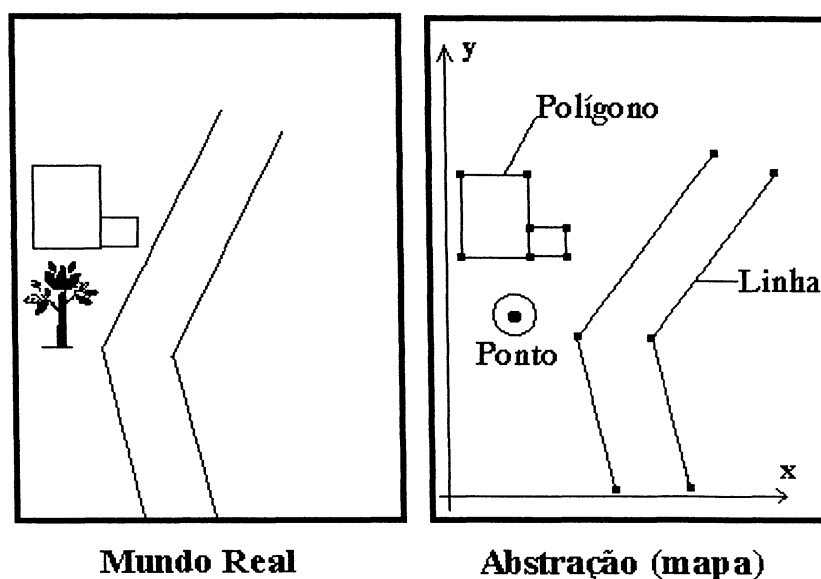
2.7 ESTRUTURA DOS DADOS GEOGRÁFICOS

A abstração do espaço geográfico por meio de mapas ocorre através da utilização dos três elementos gráficos básicos: pontos, linhas e áreas. Segundo KIMERLING (1992), a armazenagem e representação destes mapas em formato digital poderá ocorrer mediante a utilização de duas estruturas distintas de dados: vetorial e matricial.

2.7.1 Estrutura de Dados Vetoriais

Esta estrutura de dados é baseada na codificação e armazenagem de todos os elementos gráficos básicos referidos a um conjunto de coordenadas (x,y) do espaço Euclidiano. Além de ser o formato de dados mais utilizado atualmente no SIG, adiciona-se uma maior acuracidade na representação das feições. A Figura 07 apresenta feições representadas pela estrutura vetorial.

FIGURA 07 – ESTRUTURA DE DADOS VETORIAL

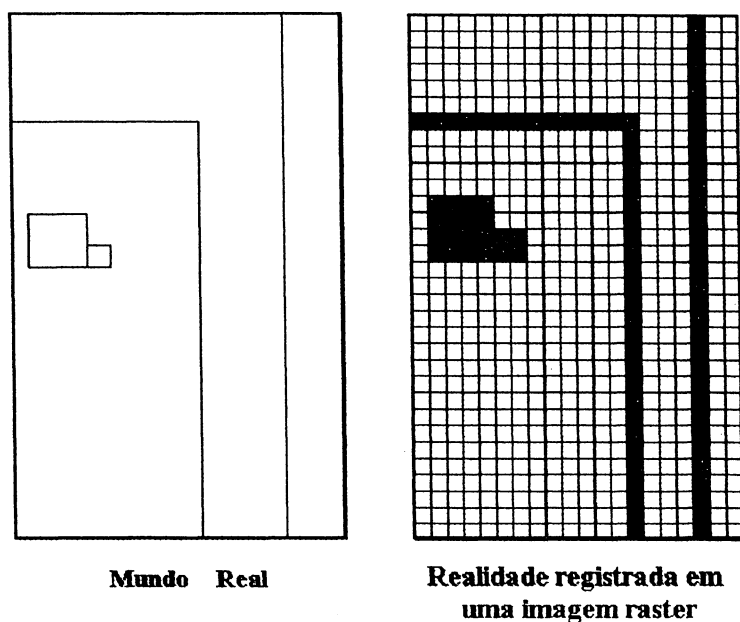


2.7.2 Estrutura de Dados Matriciais ou Raster

BURROUGH (1989) define a estrutura de dados raster como uma das mais simples, onde uma grade quadrangular é sobreposta a realidade física no terreno. Cada elemento da malha é denominado célula ou “pixel”, que é referente ao termo em inglês “picture element” (elemento pictórico). Estas células são referenciadas pelo número da linha e da coluna, contendo em cada localização (linha,coluna) um valor numérico inteiro chamado “digital number” – DN (número digital).

A resolução de uma imagem diz respeito a quantidade de linha e colunas que são utilizadas para representar para uma mesma área. Quanto maior for o número de linhas e colunas para uma mesma área, menor será a região representada em cada célula. A Figura 08 apresenta a estrutura de dados matricial.

FIGURA 08 – ESTRUTURA DE DADOS MATRICIAL



2.8 FOTOGRAMETRIA

Como visto, para a implantação de um SIG, uma das primeiras etapas a ser implementada é a geração de bases cartográficas digitais. Devido a rapidez e precisão na geração dessas bases, a Fotogrametria se constitui como técnica para esse fim.

ANDRADE (1998) define Fotogrametria como a ciência e técnica que visa obter informações dignas de confiança através das etapas de coleta, interpretação e medidas sobre imagens. Juntamente com a Cartografia e Geodésia a Fotogrametria tem seu maior uso na produção de mapas. O ramo da Fotogrametria que trabalha com fotografias aéreas é chamada de Aerofotogrametria.

MAKAROVIC e TEMPFLI (1979) afirmam que de acordo com a natureza da informação envolvida, pode ser feita uma distinção entre informação métrica e

pictórica obtidas a partir de aerofotos. A informação pictorial (semântica) é a distribuição das intensidades de luz e cores em uma aerofoto. A informação métrica diz respeito as operações de orientação, transformação, correção e interpolações.

2.8.1 Fotointerpretação

AVERY (1997) define Fotointerpretação como o processo de identificar objetos e seus significados através da análise de aerofotos, envolvendo mais a questão subjetiva do que propriamente questões quantitativas. Para a Sociedade Americana de Fotogrametria, a Fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas com o propósito de identificar objetos e identificar o seu significado (TAIT, 1970).

TAIT (1970) considera a Fotointerpretação como de vital importância para a produção de mapas topográficos e a sua eficiência significa economia no processo de geração do mapeamento. É a Fotointerpretação que estabelecerá a natureza dos objetos imageados em fotografias. Define também a Fotointerpretação Topográfica, que considera como o processo de extração da informação semântica necessária à compilação de um mapa topográfico que é gerado a partir de aerofotos.

KEATES (1989) diz que a Topografia se refere a representação de feições identificáveis na superfície terrestre, sejam naturais ou artificiais, que podem ser representadas por uma posição específica. Esta posição é expressa em relação à superfície topográfica, com variações em relação a um datum. O referenciamento destas feições é baseado em três coordenadas: x, y e z.

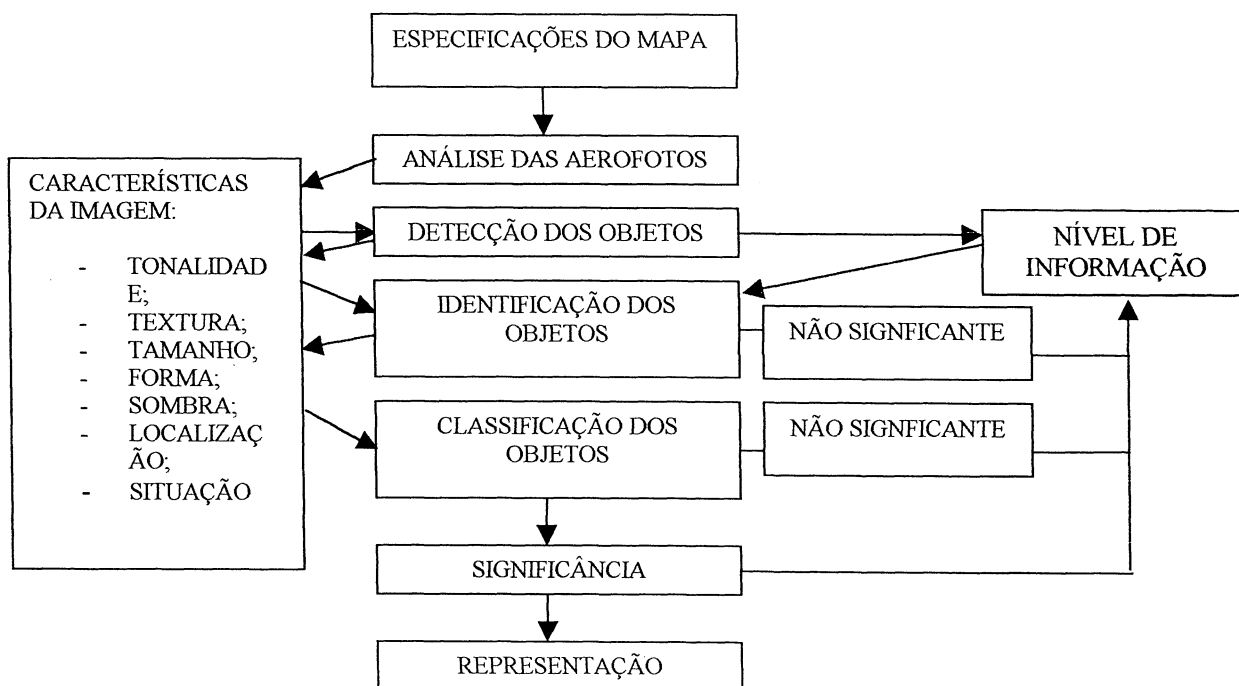
A fotointerpretação eficiente é aquela que consegue extrair toda a informação semântica necessária a obtenção do mapa topográfico. A informação métrica necessária para a representação dos objetos identificados durante o processo de interpretação é obtida mediante um procedimento de restituição.

A fotointerpretação é influenciada pela habilidade e experiência do fotointérprete e pelas características da imagem: forma, tamanho, textura, sombra, tonalidade, textura, localização e situação (TAIT, 1970). O processo de fotointerpretação pode ser dividido em três fases:

- *Finalidade e Conteúdo do mapa topográfico*: definir o que deverá ser representado mediante a utilização das aerofotos;
- *Fase de Análise*: nesta fase é procurado responder a pergunta “O que estou procurando”, que é relacionada diretamente com o propósito do mapa (informação semântica a ser representada);
- *Fase de identificação*: compreende detectar as feições de interesse e identificar o seu significado;
- *Fase de Classificação*: depois do objeto ser identificado será necessário determinar a significância deste e como será a sua representação no mapa. Geralmente na fase da classificação pode ser feita a generalização das informações, eliminando aquelas que não atendam as especificações do mapa.

A Figura 09 apresenta as relações entre as diferentes etapas da fotointerpretação.

FIGURA 09 – ETAPAS DA FOTOINTERPRETAÇÃO



FONTE: TAIT (1970)

2.8.2 Obtenção de Informações Métricas

A unidade básica de trabalho para a Aerofotogrametria é a fotografia aérea ou aerofoto. Os trabalhos de coleta de dados podem ser desenvolvidos com um par de aerofotos (estereofotogrametria) ou com uma foto singular (monorestituição).

A Fotogrametria inicialmente se valia da óptica e da mecânica para a realização da restituição (Fotogrametria Analógica). Porém, nas duas últimas décadas houve a introdução do computador no processo de orientação das aerofotos e na aquisição de dados (Fotogrametria Semi-analítica e Analítica). Atualmente, segundo ANDRADE (1998), a Fotogrametria é realizada em computadores pessoais com auxílio de programas e periféricos que passaram a denominá-la de Fotogrametria Digital. As fotografias não são mais utilizadas em meio analógico e sim convertidas através de “scanners” para o formato digital, que é a unidade de trabalho da Fotogrametria Digital.

Como o custo para a aquisição de uma câmara aérea que adquira aerofotos em formato digital ainda não é atrativo comercialmente, os “scanners” são considerados ferramentas importantes para a implementação da fotogrametria digital.

Segundo MORGADO (1998), os “scanners” utilizados em fotogrametria são denominados “scanners” fotogramétricos, e satisfazem os seguintes requisitos:

- Alta resolução geométrica do pixel;
- Alta precisão geométrica;
- Possibilidade de calibração do sistema.

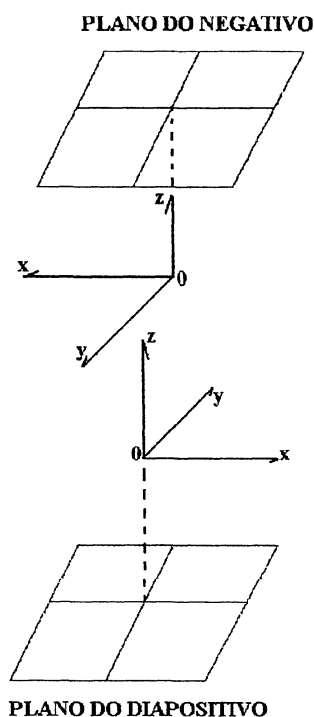
2.8.3 Sistemas de Referências

A realização dos processamentos envolvidos em fotogrametria analítica e digital envolve conhecimento dos sistemas de referência utilizados. Neste contexto, estão envolvidos dois referenciais: referencial do Espaço Imagem e o referencial do Espaço Objeto.

O espaço imagem é a região entre o ponto nodal posterior e o plano do negativo, quando as observações são obtidas a partir do negativo. Mas, normalmente os trabalhos são realizados no diapositivo, neste caso, o espaço imagem é a região compreendida entre o ponto nodal anterior e o plano do diapositivo. O espaço objeto empregado geralmente em fotogrametria é o tridimensional e compreende o ponto nodal anterior e todos os pontos do espaço fotografado (Superfície Física). Neste espaço são obtidas as observações geodésicas (LUGNANI, 1987).

A Figura 10 mostra a posição do espaço imagem do negativo e do diapositivo.

FIGURA 10 – DISPOSIÇÃO DOS PLANOS DO NEGATIVO E DO DIAPOSITIVO



2.8.4 Referencial Instrumental

Para MITISHITA(1997), o referencial instrumental é relacionado com os dispositivos empregados para a quantificação dos movimentos (codificadores) nos equipamentos utilizados para a realização de observações fotogramétricas. Um equipamento fotogramétrico de concepção simples é o monocomparador. Nestes

equipamentos, os codificadores lineares são montados em réguas guias que materializam o referencial instrumental no equipamento. A mesa digitalizadora pode ser empregada para a obtenção de observações fotogramétricas (OIMOEN, 1987). Neste caso, o referencial instrumental é a grade de condutores eletrônicos.

A transformação das observações fotogramétricas do referencial instrumental para o fiducial é uma das etapas necessárias ao restabelecimento da geometria projetiva nos processos fotogramétricos analíticos e digitais. Além disto, esta transformação matemática possibilita modelar as deformações provenientes do trabalho do filme. Estas deformações do filme podem ser modeladas por diferentes modelos matemáticos, dependendo em grande parte dos casos, do número de marcas fiduciais presentes na aerofoto.

Considerando-se as aerofotos com quatro marcas fiduciais, a transformação matemática a ser aplicada será a Afim Geral no Plano:

$$\begin{bmatrix} x_F \\ y_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

onde:

x_F e y_F – coordenadas no referencial fiducial;

x_M e y_M – coordenadas no referencial de máquina (instrumental);

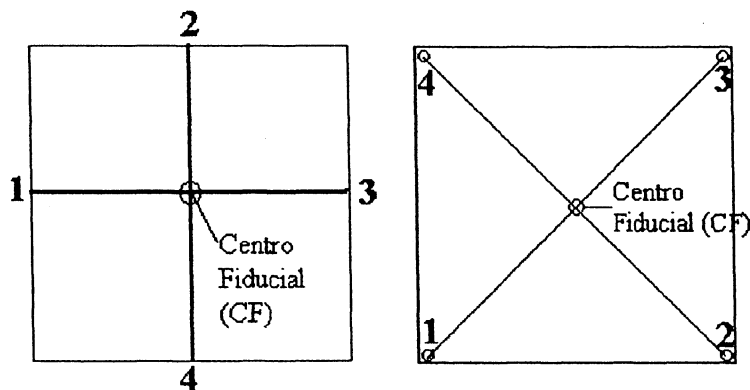
a_1, a_2, b_1, b_2, c_1 e c_2 – parâmetros para a transformação entre o referencial instrumental e o fiducial.

2.8.5 Referencial Fiducial

O referencial fiducial é relacionado as marcas fiduciais de uma câmera métrica. Esta marca tem por principal objetivo restabelecer a geometria projetiva da aerofoto (orientação interior). Para MITISHITA (1997), as marcas fiduciais são pontos de controle, fixas no plano focal do cone de uma câmara métrica, que possibilitam materializar o referencial fiducial, corrigir o trabalho do filme e restabelecer a geometria projetiva nos equipamentos fotogramétricos.

O centro fiducial de uma aerofoto é determinado pela intersecção das retas que unem as marcas fiduciais opostas. Isto é ilustrado na Figura 11.

FIGURA 11 – MARCAS FIDUCIAIS DE DUAS CÂMARAS



2.8.6 Referencial Fotogramétrico

A transformação das observações obtidas em uma aerofoto para o referencial fotogramétrico, pode ser considerada como a etapa final nos trabalhos fotogramétricos (MITISHITA, 1997). As diferenças entre o referencial fotogramétrico e o fiducial estão nas origens utilizadas e o fato de o referencial fotogramétrico ser tridimensional. O referencial fotogramétrico apresenta as seguintes características:

- Sistema de coordenadas cartesiano tridimensional destrógiro,
- Os eixos (OX_P e OY_P) do referencial fotogramétrico são paralelos aos eixos (OX_F e OY_F) do referencial fiducial;
- O eixo OZ_P é perpendicular ao plano da aerofoto.

As coordenadas de um ponto no referencial fotogramétrico são os valores espaciais (X_P, Y_P, Z_P). Para observações obtidas a partir de uma aerofoto singular, Z_P é um valor constante e igual a distância focal da câmara, sendo positivo para observações no negativo e para observações do diapositivo negativo.

Pode-se afirmar que as diferenças entre o referencial fotogramétrico e o referencial fiducial resumem-se a uma translação:

$$\left. \begin{aligned} x_p &= x_f - x_{pp} \\ y_p &= y_f - x_{pp} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

onde:

x_p e y_p – coordenadas do ponto no referencial Fotogramétrico;

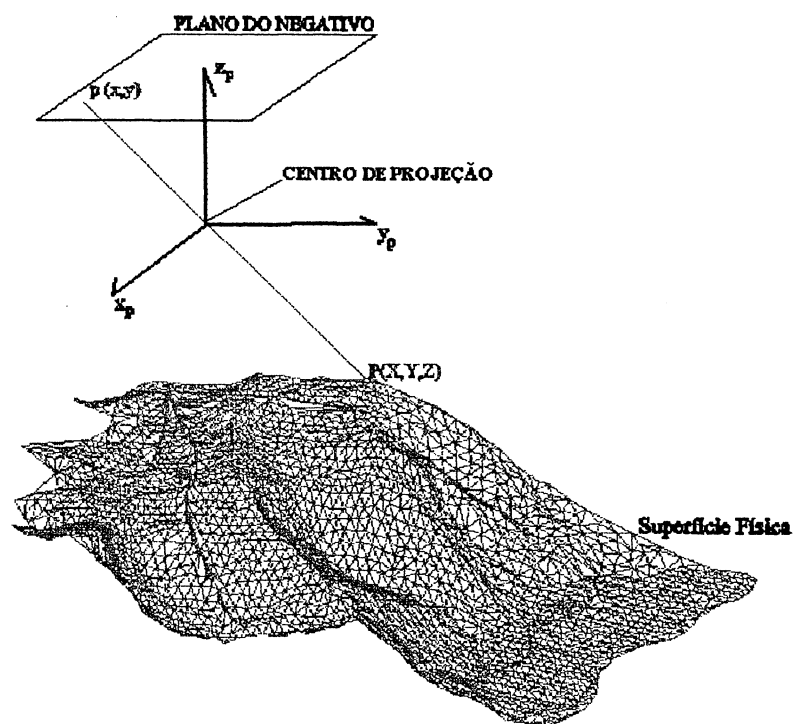
x_f e y_f – coordenadas do ponto no referencial Fiducial;

x_{pp} e y_{pp} – coordenadas do ponto principal (obtidas do certificado de calibração de câmara) no referencial fiducial.

2.8.7 Equações de Colinearidade

As equações de colinearidade podem ser consideradas como a base para os trabalhos fotogramétricos analíticos e digitais. Estas equações satisfazem a hipótese que o raio de luz propaga-se no espaço entre a câmara e o objeto em uma linha reta. A Figura 12 mostra esta hipótese.

FIGURA 12 – HIPÓTESE DAS EQUAÇÕES DE COLINEARIDADE



Com base na Figura 12 têm-se:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{- Coordenadas do ponto P no espaço objeto;}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad \text{- Coordenadas do ponto P no espaço imagem.}$$

A dedução das equações de colinearidade é obtida através da equação da reta no espaço:

$$\frac{x}{X} = \frac{y}{Y} = \frac{z}{Z} \quad (2.3)$$

Na prática, a colinearidade não ocorre devido aos erros sistemáticos da imagem: trabalho do filme, distorções de lentes e refração fotogramétrica que provocam o deslocamento do ponto imagem e do raio de luz. O afastamento da condição de colinearidade pode ser minimizado matematicamente utilizando a parametrização ou com a pré-correção dos erros, possibilitando a aplicação da condição proposta. (MITISHITA, 1997).

Baseado nas equações 2.3, obtêm-se duas equações linearmente independentes:

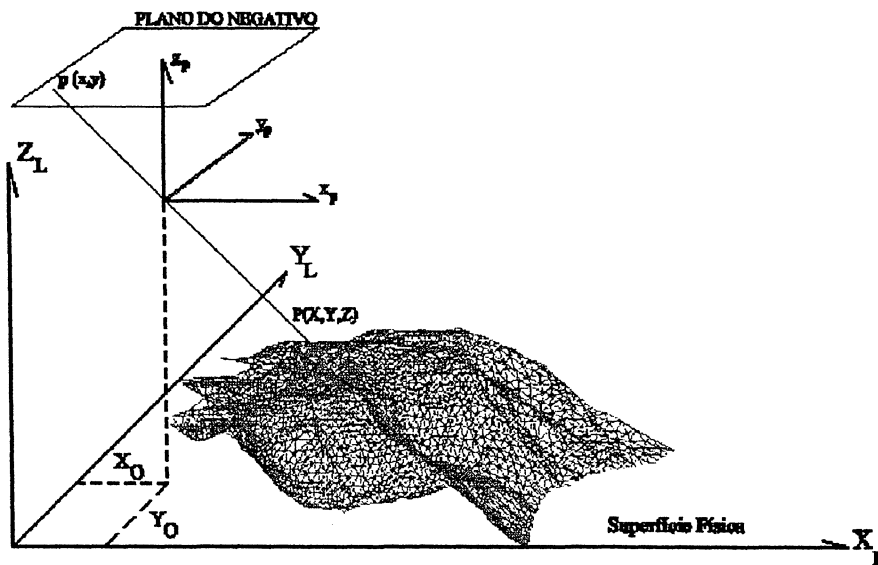
$$\left. \begin{aligned} x &= z \cdot \frac{X}{Z} \\ y &= z \cdot \frac{Y}{Z} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Para câmaras métricas, z é constante para todos os pontos imagens do negativo. Este valor constante é a distância focal da câmara. Substituindo nas equações 2.4, resulta:

$$\left. \begin{aligned} x &= c \cdot \frac{X}{Z} \\ y &= c \cdot \frac{Y}{Z} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Porém, as coordenadas do espaço objeto estão referidas ao referencial fotogramétrico, o que para fins práticos deveria ser um referencial Geodésico Local Cartesiano Tridimensional. A Figura 13 apresenta a relação entre estes dois referenciais.

FIGURA 13 – REFERENCIAL GEODÉSICO LOCAL EM RELAÇÃO AO FOTOGRAMÉTRICO



A partir da Figura 13 e suas relações matemáticas obtêm-se:

$$\begin{aligned} x &= -c \cdot \frac{m_{11} \cdot (X - X_0) + m_{12} \cdot (Y - Y_0) + m_{13} \cdot (Z - Z_0)}{m_{31} \cdot (X - X_0) + m_{32} \cdot (Y - Y_0) + m_{33} \cdot (Z - Z_0)} \\ y &= -c \cdot \frac{m_{21} \cdot (X - X_0) + m_{22} \cdot (Y - Y_0) + m_{23} \cdot (Z - Z_0)}{m_{31} \cdot (X - X_0) + m_{32} \cdot (Y - Y_0) + m_{33} \cdot (Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.8.8 Equações de Colinearidade Inversa

As equações 2.6 relacionam coordenadas de pontos do espaço imagem com o espaço objeto (Equações de Colinearidade na forma direta). Usualmente, os valores das fotocoordenadas são expressas em função dos elementos de orientação da aerofoto, coordenadas do mesmo ponto no referencial geodésico local e distância focal (MITISHITA, 1997).

Em outras aplicações menos freqüentes, faz-se necessário a utilização das equações de colinearidade inversa. As equações de colinearidade inversa relacionam coordenadas do espaço objeto em função de observações no referencial fotogramétrico, dos parâmetros de orientação exterior da aerofoto e de coordenadas Z no terreno:

$$X = f(c, \kappa, \varphi, \varpi, X_0, Y_0, Z_0, x, y, Z) \quad (2.7)$$

$$Y = f(c, \kappa, \varphi, \varpi, X_0, Y_0, Z_0, x, y, Z) \quad (2.8)$$

onde:

$[x, y]^T$ – coordenadas no referencial fotogramétrico;

$[X, Y, Z]^T$ – coordenadas no referencial geodésico local;

$(\kappa, \varphi, \varpi, X_0, Y_0, Z_0)$ – parâmetros de orientação exterior de uma aerofoto;

c – distância focal da câmara.

MITISHITA (1997) apresenta as deduções necessárias para a obtenção das equações de colinearidade inversa. Abaixo são apresentadas estas equações:

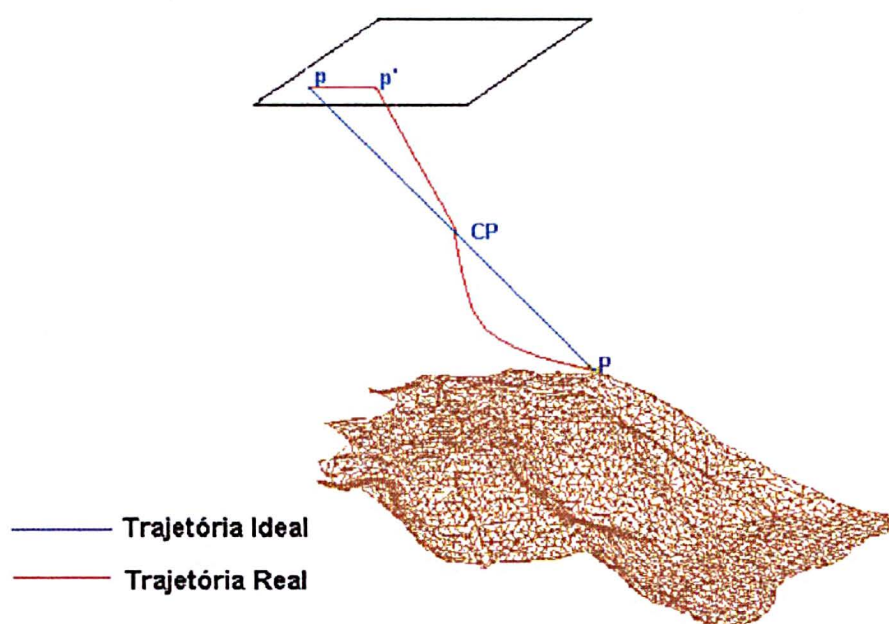
$$\left. \begin{aligned} X &= X_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{m_{11} \cdot x + m_{21} \cdot y + m_{31} \cdot c}{m_{13} \cdot x + m_{23} \cdot y + m_{33} \cdot c} \\ Y &= Y_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{m_{12} \cdot x + m_{22} \cdot y + m_{32} \cdot c}{m_{13} \cdot x + m_{23} \cdot y + m_{33} \cdot c} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

As equações 2.9 permitem a determinação de coordenadas no referencial geodésico local em função das coordenadas no referencial fotogramétrico, parâmetros de orientação exterior de uma aerofoto e informação altimétrica do terreno.

2.8.9 Erros Sistemáticos da Imagem

O fundamento matemático das equações de colinearidade é a condição de colinearidade do ponto imagem, centro de projeção e do ponto objeto. Esta condição não ocorre na prática devido a interferência dos erros sistemáticos na imagem. A Figura 14 ilustra a influência dos erros sistemáticos.

FIGURA 14 – TRAJETÓRIA DO RAIOS DE LUZ NO ESPAÇO



Os erros sistemáticos que afetam a condição de colinearidade são refração fotogramétrica, distorções de lentes e o trabalho do filme. Matematicamente é possível impor a condição de colinearidade nas observações fotogramétricas. Isto se torna possível através da aplicação de modelos matemáticos que propiciem as correções dos erros sistemáticos.

2.8.10 Orientação Exterior de uma Aerofoto

LUGNANI (1987), diz que a orientação exterior de uma aerofoto consiste em:

- obtidas as fotocoordenadas de pontos (x_i, y_i) no espaço imagem, as correspondentes coordenadas (X_i, Y_i, Z_i) no espaço objeto, a distância focal da câmara e os valores iniciais aproximados referentes a orientação exterior da aerofoto $(X_0', Y_0', Z_0', \kappa', \varphi', \varpi')$;
- calcular os parâmetros de orientação exterior da aerofoto $(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \varpi)$.

Utilizando-se as equações de colinearidade na forma direta, pode-se determinar os parâmetros necessários a orientação exterior, através da resolução de um sistema de equações. Cada ponto com coordenadas fotogramétricas e geodésicas conhecidas, fornece duas equações. Com três pontos obtêm-se seis equações e seis incógnitas, o que torna o sistema de equações com solução única (MITISHITA, 1997).

Na prática, usa-se a superabundância de observações, isto é, observam-se mais pontos do que o necessário. Segundo MITISHITA (1997), isto propicia a correta determinação dos parâmetros de orientação, detecção de erros grosseiros e a análise das precisões obtidas.

A resolução do sistema de equações obtidas é determinada por técnicas de ajustamento. Considerando-se as coordenadas fotogramétricas e geodésicas como sendo valores observados dentro de uma determinada precisão, é possível empregar o Método Paramétrico com Injunção de Peso (MITISHITA, 1997).

A formulação matemática para esta forma de ajustamento será:

$$L_a = F(X_a) \quad (2.11)$$

onde:

L_a = valores observados ajustados;

X_a = Parâmetros ajustados.

O modelo linearizado por Taylor, resulta:

$$V = AX + L \quad (2.12)$$

Onde:

V – Vetor dos resíduos das observações fotogramétricas;

A – Matriz das derivadas parciais em relação aos parâmetros;

X – Vetor das observações fotogramétricas.

$$L = L_0 - L_b \quad (2.13)$$

Onde:

L_b – Vetor dos valores observados de fotocoordenadas;

$L_0 - F(X_0^0)$ – Vetor dos resultados da função matemática com os parâmetros aproximados.

Considerando-se as injunções de posição:

$$\left. \begin{aligned} X_c^a - X_{\text{obs}} &= \varepsilon_x \\ Y_c^a - Y_{\text{obs}} &= \varepsilon_y \\ Z_c^a - Y_{\text{obs}} &= \varepsilon_z \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

onde:

$[X_{\text{obs}}, Y_{\text{obs}}, Z_{\text{obs}}]$ – coordenadas no referencial geodésico local observadas;

$[X_c^a, Y_c^a, Z_c^a]$ – coordenadas no referencial geodésico local ajustadas;

$[\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z]$ – erro de fechamento dos pontos no referencial geodésico local.

Os parâmetros ajustados são obtidos por:

$$X_a = X_0^0 + X \quad (2.15)$$

Onde:

X_a – vetor dos parâmetros ajustados;

X_0^0 – vetor dos parâmetros aproximados;

X – vetor das correções aos parâmetros aproximados.

O vetor das correções aos parâmetros aproximados é obtido por:

$$X = -(N_1 + N_2)^{-1} \cdot (U_1 + U_2) \quad (2.16)$$

Sendo que:

$$N_1 = A^t \cdot P \cdot A \quad (2.17)$$

$$N_2 = P \quad (2.18)$$

$$U_1 = A^T \cdot P \cdot L \quad (2.19)$$

$$U_2 = \tilde{P} \cdot \varepsilon \quad (2.20)$$

Onde:

P – matriz de pesos das observações fotogramétricas;

\tilde{P} - matriz de pesos das observações geodésicas;

ε - vetor erro de fechamento das injunções.

A análise da precisão da determinação dos parâmetros ($X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \varpi$) de orientação exterior da aerofoto pode ser obtida através dos resíduos nas observações fotogramétricas (V), resíduos nas injunções (ε) e matriz variância e covariância dos parâmetros ajustados (ΣX_a), obtidos por:

$$\Sigma X_a = \sigma_0^2 \cdot (N_1 + N_2)^{-1} \quad (2.21)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T \cdot P \cdot V + \varepsilon^T \cdot \tilde{P} \cdot \varepsilon}{gl} \quad (2.22)$$

Onde:

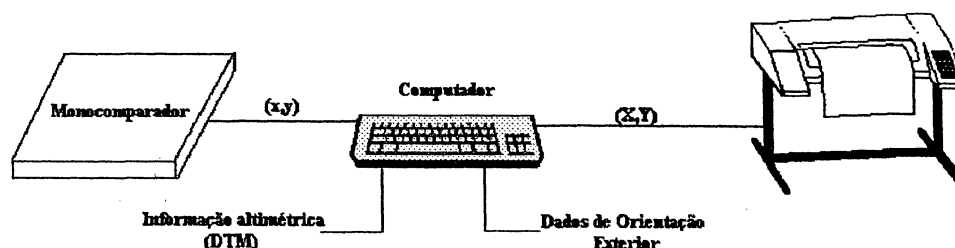
σ_0^2 - variância das observações de peso unitário a posteriori;

gl – graus de liberdade (total de equações menos o número de incógnitas)

2.9 MONORESTITUIÇÃO DIGITAL

A Monorestituição Digital é o processo no qual a obtenção de informações é feita a partir de uma aerofoto. Para que este trabalho tenha a precisão necessária será empregada uma formulação matemática que foi inicialmente proposta por MAKAROVIC (1973). Para este autor, a metodologia proposta poderia ser empregada principalmente para a atualização de mapas. Um monorestituidor seria composto basicamente por três partes: monocomparador, computador e um plotador. Esta concepção é mostrada na figura 15.

FIGURA 15 – MONORESTITUIDOR ANALÍTICO



FONTE: MAKAROVIC (1973)

O processo consiste na transformação de coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) , de pontos observados na aerofoto, para o referencial geodésico cartesiano tridimensional local (X_L, Y_L, Z_L) , mediante a utilização das equações de colinearidade na forma inversa e da informação altimétrica do local. Utilizando parâmetros aproximados obtidas através da orientação espacial aproximada, as observações fotogramétricas são transformadas para o referencial geodésico local. A partir destas duas coordenadas (X_L, Y_L) aproximadas, obtêm-se no Modelo Digital do Terreno uma cota (Z_L) equivalente. Estes valores são então aplicados nas equações de colinearidade inversa (equações 2.9). Solucionado este sistema de equações, de colinearidade inversa são obtidos novos valores para o par de coordenadas (X_L^{n+1}, Y_L^{n+1}) , que são coordenadas mais precisas que aquelas utilizadas inicialmente. Com este novo par de coordenadas, obtêm-se um novo valor de cota no Modelo Digital do Terreno, e

novamente são aplicadas as equações de colinearidade. Obtêm-se par de coordenadas (X_L^{n+2}, Y_L^{n+2}) , que é então comparado com o anterior (X_L^{n+1}, Y_L^{n+1}) . Este processo iterativo se repete até que as diferenças entre as coordenadas planimétricas calculadas nas iterações n e $n+1$ sejam compatíveis com a precisão pretendida para os trabalhos. A precisão adotada neste trabalho é equivalente às dos trabalhos desenvolvidos pela Fotogrametria Analítica e que consideram como o menor erro possível a marca estereoscópica, com diâmetro de 0,050 mm.

A seguir, são apresentados alguns exemplos de utilização das equações de colinearidade na forma inversa.

TUDOR e SUGARBAKER (1993), desenvolveram e testaram a viabilidade da atualização das bases cartográficas do Departamento de Recursos Naturais do Estado de Washington. Os dados espaciais atualizados foram obtidos a partir de fotografias aéreas singulares em escala 1:18.000, visando a sua utilização em um SIG. As fotocoordenadas obtidas através de uma mesa digitalizadora foram corrigidas analiticamente através das equações de colinearidade. A comparação de coordenadas obtidas pelo processo proposto com aquelas obtidas pela restituição convencional mostrou a viabilidade para aplicações planimétricas com erro médio de 1,2 m.

OIMOEN (1987) utilizou processo semelhante, trabalhando com fotografias em escala 1:3.300. Comparando as coordenadas de pontos foto-identificáveis, obtidas a partir das fotografias aéreas com as respectivas obtidas por levantamento geodésico encontrou os seguintes erros médios:

$$\Delta X = 0,153 \text{ m};$$

$$\Delta Y = 0,204 \text{ m};$$

$$\Delta Z = 0,364 \text{ m}.$$

MITISHITA (1997), desenvolveu e utilizou um sistema baseado no modelo proposto pela Figura 15, visando a sua aplicação na área florestal. Os resultados encontrados em sua pesquisa, provaram a viabilidade de um sistema baseado em monorestituição digital.

CORTES (1998), utilizando o processo de monorestituição digital e fotografias aéreas digitais de pequeno formato produziu uma carta planimétrica de

uma área da cidade de Goiânia. Através do decreto lei 89.817, de 20 de junho de 1984, esta carta obtida em escala 1:5.000 foi classificada como A.

Comparado ao modelo proposto por MAKAROVIC (1973), que previa a utilização de aerofotos em formato analógico (papel), a Monorestituição em formato digital apresenta vantagens relacionadas a manipulação das imagens. Isto resulta em facilidades, principalmente, em relação a fotointerpretação, pois o sistema computacional permite a ampliação em várias vezes destas imagens.

MITISHITA (1997), sugere que os trabalhos de Monorestituição Digital poderão ser executados da seguinte maneira:

- Aquisição das aerofotos no formato digital;
- Orientações necessárias das aerofotos;
- Aquisição da informação altimétrica;
- Vetorização das informações planimétricas de interesse;
- Transformações entre referenciais de coordenadas;
- Edição gráfica.

2.9.1 Aquisição das Aerofotos

Para a realização dos trabalhos, as aerofotos devem estar no formato digital (matricial), mas como câmaras métricas digitais ainda não são viáveis economicamente, a transformação das aerofotos para o formato digital foi realizada com a utilização de um “scanner” fotogramétrico, cujas imagens atendam as precisões necessárias para a realização dos trabalhos de mapeamento digital.

2.9.2 Orientações Necessárias das Aerofotos

As orientações necessárias são:

- Orientação Interior;
- Orientação Espacial Aproximada;

- Orientação Espacial Exata.

A *Orientação Interior* determina os parâmetros que possibilitam a obtenção de fotocoordenadas corrigidas dos erros sistemáticos da imagem. São necessários e indispensáveis os parâmetros de calibração da câmara utilizadas na obtenção da aerofoto. Estes parâmetros constantes no certificado de calibração são:

- Distância focal calibrada;
- Coordenadas Fiduciais das Marcas Fiduciais;
- Coordenadas Fiduciais do Centro Fiducial;
- Parâmetros relacionados às distorções radial simétrica e descentrada;
- Parâmetros para a correção da Refração Fotogramétrica.

A orientação interior foi realizada através das leituras das marcas fiduciais na aerofoto digital. Estas leituras foram obtidas utilizando-se uma ferramenta do programa Geographics, que fornece as coordenadas de máquina que estão referidas ao plano gráfico deste programa.

Com as leituras das marcas fiduciais no referencial de máquina, as respectivas coordenadas fiduciais no referencial fiducial e utilizando técnicas de ajustamento, determinam-se os parâmetros necessários para realizar as transformações do referencial de máquina para o fiducial.

A *Orientação Espacial Aproximada* consiste na determinação dos parâmetros da transformação projetiva plana (8 parâmetros), para fins de obtenção dos valores aproximados das coordenadas planas necessárias ao processo iterativo, detecção de erros grosseiros nas observações fotogramétricas e nos pontos de apoio. Por tratar-se de uma transformação matemática aproximada, esta apresenta melhores resultados em relevos menos acidentados. Abaixo é apresentado este modelo matemático:

$$\left. \begin{aligned} X_L &= \frac{a_1 \cdot x_p + a_2 \cdot y_p + a_3}{a_4 \cdot x_p + a_5 \cdot y_p + 1} \\ Y_L &= \frac{a_6 \cdot x_p + a_7 \cdot y_p + a_8}{a_4 \cdot x_p + a_5 \cdot y_p + 1} \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Onde:

$(X_L, Y_L)^T$ – Coordenadas no Referencial Geodésico Local;

$(x_p, y_p)^T$ – Coordenadas no Referencial Fotogramétrico;

$(a_1, a_2, \dots, a_8)^T$ – Parâmetros necessários a transformação entre os dois referenciais.

Para a solução das equações 2.23 será necessário realizar as leituras no programa Geographics (referencial instrumental) dos pontos fotogramétricos que apresentam coordenadas no referencial Geodésico Local (pontos de aerotriangulação).

A *Orientação Espacial Exata* equivale a determinação dos parâmetros de orientação exterior de cada aerofoto, mediante a utilização dos parâmetros obtidos com a orientação Espacial Aproximada.

A *Vetorização* das informações planimétricas foi realizada com os recursos para a criação de entidades vetoriais disponibilizadas pelo programa Geographics. Estas entidades são obtidas diretamente da aerofoto digital, visualizada no monitor do computador. Todas as entidades vetoriais criadas estão referenciadas à origem gráfica do Geographics (referencial instrumental) e na mesma projeção da aerofoto, ou seja, na projeção central. As transformações necessárias para retificar o arquivo gráfico transformam as coordenadas de projeção central da aerofoto para uma projeção ortogonal no referencial Geodésico Local.

A *Edição Gráfica* tem por objetivo reunir os arquivos digitais retificados e então elaborar a articulação de folhas do projeto. Em seguida, são adequadas as entidades gráficas aos padrões definidos, e inseridos os dados provenientes da reambulação.

2.10 Informação Altimétrica

O traçado manual de curvas de nível foi durante muito tempo a forma mais utilizada para a representação da altimetria de uma porção da superfície terrestre. Com a informática, tornou-se possível a utilização de uma técnica chamada de Modelo Digital do Terreno (MDT), que descreve matematicamente o terreno mediante a

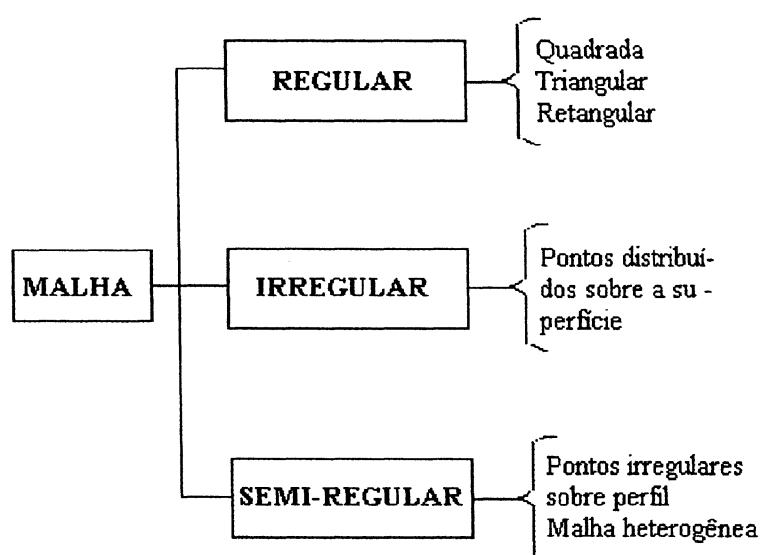
utilização de uma função de interpolação (SILVA, 1990). A superfície digital pode ser obtida a qualquer situação onde em informação altimétrica seja suficiente.

A obtenção das coordenadas tridimensionais (X,Y,Z) sobre a superfície topográfica é a etapa mais importante para a geração do MDT. As fontes de dados tridimensionais mais comumente usadas para esta finalidade provêm de três alternativas básicas: levantamento topográfico, restituição fotogramétrica ou a digitalização de mapas existentes. Os levantamentos topográficos e a restituição convencional são uma amostragem primária do terreno, enquanto, que os dados provenientes de mapas são consideradas amostragens secundárias, pois os mapas em geral são derivados de levantamentos fotogramétricos (CAMPOS, 1994).

CAMPOS (1994) ainda diz que os pontos de amostragem primária não devem ser escolhidos aleatoriamente. O processo de amostragem deve obter os pontos que são representativos do relevo. Portanto, deverão ser consideradas depressões, elevações, linhas de crista e drenagem, estradas e áreas construídas. Os pontos obtidos por amostragem secundária serão definidos pelas curvas de nível já existentes.

Com base nestas afirmações, os trabalhos de amostragem do relevo podem ser classificados de acordo com a distribuição dos pontos em: regular, irregular e semi-regular. A Figura 16 ilustra esta classificação.

FIGURA 16 – CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRAGEM DE PONTOS



FONTE: CAMPOS (1994)

Os pontos com distribuição regular tem distância fixa em relação aos vizinhos. Isto implica em não se poder escolher o local para realizar as medidas. A distribuição irregular é concretizada sem a preocupação com a distribuição dos pontos sobre a superfície topográfica, mas são coletados em maior número nos locais mais acidentados. Na distribuição semi-regular, os pontos são espaçados por uma certa regularidade, sendo ordenados em alguma direção. MITISHITA (1997) sugere ainda a utilização de perfis irregulares associados a pontos densificados em locais onde o terreno se torna mais acidentado.

Concluída a amostragem dos pontos, a etapa seguinte consistirá na entrada e edição dos dados para gerar o MDT. Os dados oriundos da fotogrametria se encontram em formato numérico, o que facilita a operação.

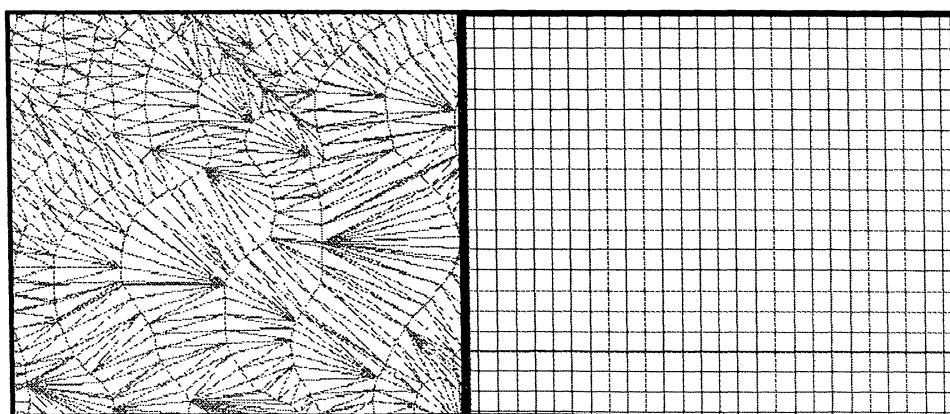
Terminada a aquisição e edição dos pontos amostrais, procede-se a criação do modelo digital do terreno. Baseado na amostra discreta de pontos, constrói-se uma malha regular ou irregular.

A malha regular representa a superfície através de poliedros de faces regulares que podem ser: quadrados, retângulos, triângulos ou hexágonos. A malha regular mais utilizada é a malha quadrada, composta por elementos simples apresenta uma série de vantagens, principalmente no que diz respeito ao tamanho do arquivo digital e processamento computacional menos complexo.

As malhas irregulares aproximam o terreno através de poliedros de faces irregulares. Os poliedros irregulares mais utilizados são os triângulos e é reconhecida internacionalmente como TIN (Triangular Irregular Network).

A Figura 17 apresenta estas duas representações da superfície.

FIGURA 17 – EXEMPLO DE MALHA IRREGULAR (TIN) E REGULAR.

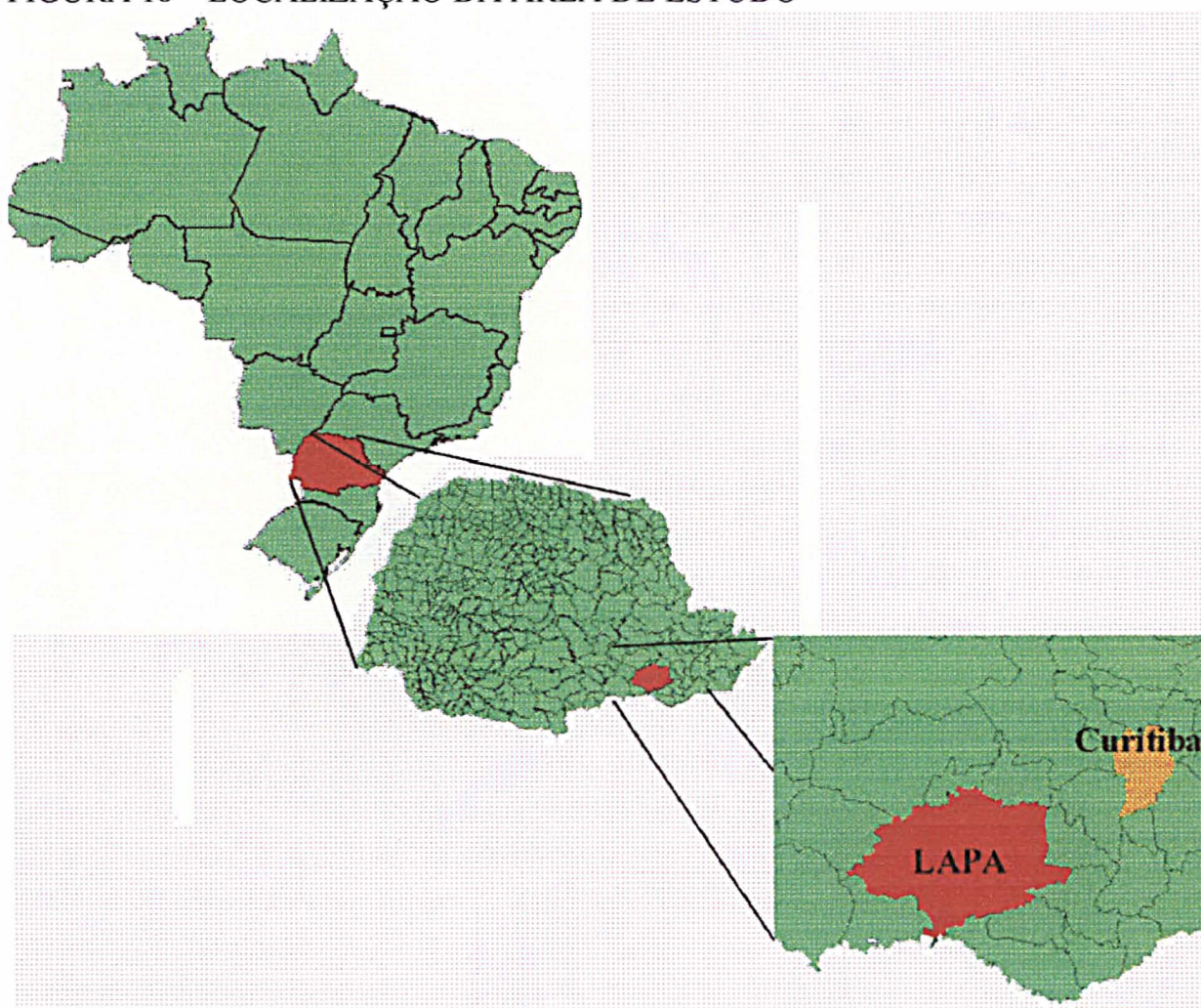


3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de pesquisa pertence ao quadro urbano da cidade da Lapa, no Estado do Paraná, distante cerca de 77 km da capital do Estado, Curitiba (Figura 18). Foram escolhidas quadras localizadas em áreas do centro e bairro, contemplando situações distintas para a proposta do trabalho.

FIGURA 18 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



3.2 MATERIAIS

Os seguintes materiais utilizados para a realização deste trabalho foram:

- Computador pessoal com processador matemático de 750 Mhz, 256 Mb de memória RAM, placa de vídeo de 16 Mb e monitor tela plana de 15";
- Estereoscópio de espelho;
- Filmadora Sony Handycam Digital;
- Programa Geographics J com aplicativo Geoterrain, da Empresa Bentley;
- Programa Monorestituidor Digital, da Empresa Tecnomapa Computação Ltda;
- Programa Adobe Photoshop 5.0, da Empresa Adobe;
- Programa Access 97 e Visual Basic 6.0, da Empresa Microsoft;
- Cópias heliográficas das fotografias aéreas em escala 1:8.000 da área urbana da cidade de Lapa;
- Duas fotografias aéreas (290 e 291) em escala 1:8.000 em formato digital (.tif);
- Certificado de Calibração de Câmara Aérea;
- Arquivos de Aerotriangulação contendo os pontos fotogramétricos codificados e as respectivas coordenadas UTM determinadas pela aerotriangulação;
- Arquivos digitais em escala 1:2.000, produzidos por restituição convencional contendo informação planialtimétrica.

3.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa foi composta pelas seguintes etapas:

- Pesquisa de material de apoio na prefeitura;
- Adequação das aerofotos;
- Geração do modelo digital do terreno;

- Definição das Representações Cartográficas;
- Restituição Digital;
- Reambulação;
- Edição dos arquivos restituídos;
- Análise dos Arquivos Gerados;
- Edição topológica;
- Implantação do Sistema de Informações Geográficas;
- Customização do SIG;
- Criação da interface para consulta ao banco de dados;
- Integração do SIG a interface criada;
- Verificação da funcionalidade do Sistema

3.3.1 Pesquisa de Material de Apoio

Uma importante ferramenta de apoio foi solicitada junto a prefeitura municipal da Lapa: as informações cadastrais referentes a cada quadra urbana. Estas plantas contêm a descrição das benfeitorias existentes em cada lote urbano no ano da sua obtenção (1989). Estas plantas foram posteriormente convertidas para o meio digital (“escanerização”) sendo integradas ao sistema de informações geográficas. O repasse das informações analíticas (nome do proprietário, endereço, tipo de edificação, entre outras) por parte da prefeitura municipal, foi restringido a somente uma quadra urbana. Esta medida faz parte de normatização interna, que prevê acesso restrito a este tipo de informações.

3.3.2 Adequação das Aerofotos

As fotografias aéreas foram obtidas a partir de câmaras convencionais, isto é, o registro das imagens ocorreu em um filme. As cópias de cada negativo são então produzidas em papel ou filme transparente (diapositivo). Para converter estas imagens

para o meio digital foi necessário a utilização de um “scanner” fotogramétrico, que digitaliza as imagens através do diafilme, que é também utilizado para a restituição convencional. Os arquivos digitalizados foram então gravados em formato TIF. O Geographics apresenta uma ferramenta que possibilita a visualização de vários formatos de imagens, mas aquele que apresenta o melhor processamento é o formato HMR. Foi, portanto, conveniente a conversão das imagens para este tipo de formato.

A resolução geométrica das aerofotos digitais correspondeu a um “pixel” de 0,020 mm. Considerando a escala média das aerofotos como sendo 1:8.000, este valor equivale a 0,16 m no terreno.

3.3.3 Geração do Modelo Digital do Terreno

Para a geração do MDT foram utilizadas as curvas de nível provenientes da restituição convencional. Os trabalhos para esta etapa foram os seguintes:

- Importação dos arquivos provenientes da restituição convencional para o formato DGN;
- Separação da informação altimétrica e planimétrica em arquivos digitais distintos;
- Utilizando o aplicativo Geoterrain e o programa Geographics da Bentley, foi extraída a informação altimétrica das curvas de nível com equidistância vertical de 1m;
- A partir da informação extraída procedeu-se a geração da superfície irregular (TIN). Para a geração das superfícies numéricas do terreno o aplicativo Geoterrain utilizou polinômios de 5°;
- Através da malha de pontos irregular foi obtida a superfície numérica composta por uma malha quadrada de pontos separados por uma distância horizontal (E, N) de 5 m.

A superfície numérica regular teve sua informação altimétrica extraída, com auxílio do Geoterrain, e armazenada em um arquivo digital contendo a coordenada

tridimensional antecedida por um código (a, E, N, h). A Tabela 02 apresenta uma parte deste arquivo.

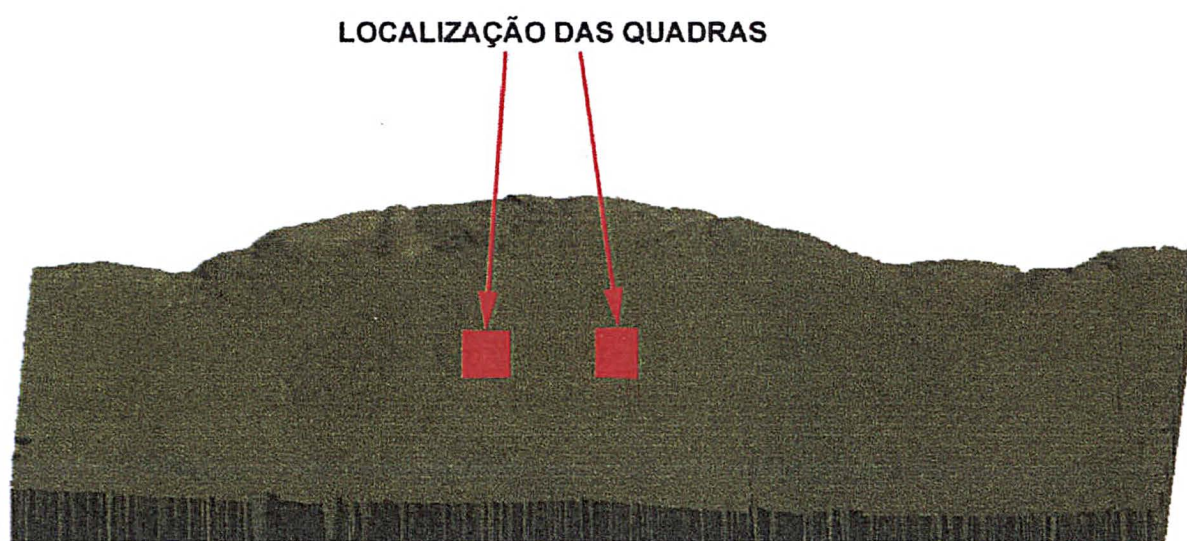
TABELA 02 – ARQUIVOS OBTIDO A PARTIR DA GRADE REGULAR

a	E	N	H
1	628860.000	7149220.000	807.468
1	628865.000	7149220.000	903.767
1	628865.000	7149225.000	879.364
1	628860.000	7149225.000	826.851
1	628860.000	7149220.000	807.468

Para a entrada do arquivo digital contendo a informação altimétrica, foi necessário converter o arquivo para o formato de entrada do programa monorestituído digital (E, N, h). Outro problema que foi resolvido foram as coordenadas duplicadas, uma vez que a extração de informações considera cada elemento, ou seja, cada quadrado que compõe a malha. Para tanto, foi desenvolvida uma rotina de programação em Visual Basic visando a eliminação de coordenadas duplicadas.

A Figura 19 mostra a superfície numérica do terreno da área de estudo. A esta superfície foi aplicado um efeito foto-realístico chamado de “render”.

FIGURA 19 – MDT DA ÁREA DE ESTUDO



3.3.4 Definição das Representações Cartográficas

Nesta etapa foram definidas as representações cartográficas: símbolos lineares e pontuais necessários à representação da informação de interesse.

Os símbolos lineares corresponderam à representação das seguintes informações:

- Ruas;
- Caminhos;
- Quadras;
- Cercas e muros;
- Praças;
- Canteiros.

Para a representação das edificações foram utilizados símbolos pontuais. Apesar das facilidades de consulta em um SIG, optou-se por diferenciar os símbolos referentes às edificações residenciais, comerciais e públicas, uma vez que um dos produtos obtidos a partir do mapeamento digital é a impressão em papel.

3.3.5 Restituição Digital

A monorestituição digital foi implementada em duas etapas distintas:

- geração do arquivo digital contendo a informação planimétrica vetorizada;
- retificação do arquivo digital gerado.

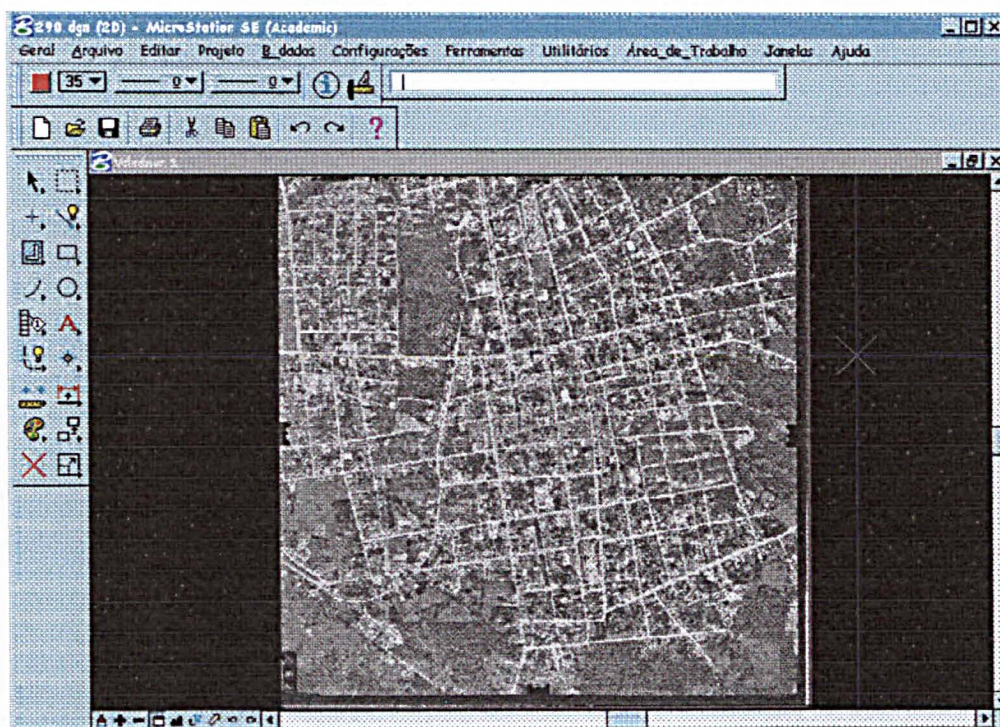
3.3.5.1 Geração do arquivo digital

Esta etapa corresponde à coleta de dados no Geographics. Os trabalhos foram:

- *Abertura da aerofoto digital pelo gerenciador de imagens*: após criar um arquivo gráfico no Geographics, procedeu-se à locação da aerofoto na área de trabalho

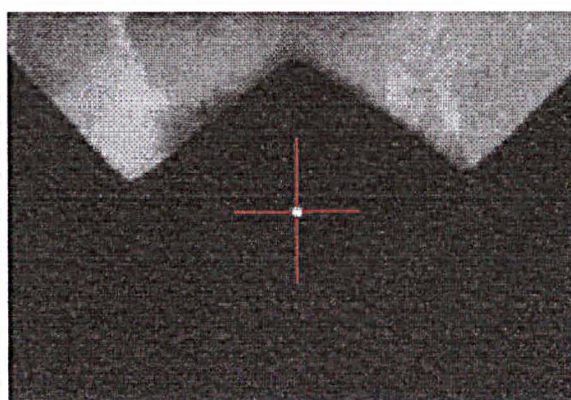
para o início da vetorização. As aerofotos Nesta etapa, por conveniência, aplicou-se uma rotação de 180° a imagem, de maneira a que sua orientação coincidisse com a base cartográfica previamente obtida pela restituição convencional. A Figura 20 apresenta a aerofoto pronta para a vetorização das informações planimétricas.

FIGURA 20 – AEROFOTO DIGITAL NO GEOGRAPHICS



- *Leitura das marcas fiduciais*: para obtenção das leituras no referencial gráfico, das marcas fiduciais, será utilizado o aplicativo FIDUCIAL, que acompanha o programa monorestituído digital. As leituras foram armazenadas em um arquivo denominado FIDUCIAL, visando posterior processamento. A Figura 21 mostra a leitura de uma marca fiducial.

FIGURA 21 – LEITURA DE MARCA FIDUCIAL



- *Leitura dos pontos de apoio*: de forma similar ao item anterior, foram feitas as leituras dos pontos fotogramétricos de apoio. As coordenadas destes pontos estão referidas ao Datum SAD-69 (South American Datum) e foram determinadas pela aerotriangulação, etapa anterior ao processo de restituição convencional.

- *Vetorização da informação planimétrica*: com a aerofoto digital locada no monitor do computador, procedeu-se a vetorização dos elementos de interesse utilizando-se das ferramentas “Cadd” disponíveis (linhas, polilinhas e pontos). Para as edificações optou-se pela utilização de um ponto (posicionado aproximadamente na parte central da fachada de cada edificação). Se os símbolos cartográficos representativos das edificações fossem inseridos nesta etapa as suas formas seriam descaracterizadas em virtude do processo de retificação do arquivo vetorial. A Figura 22 apresenta esta atividade para uma aerofoto.

FIGURA 22 – VETORIZAÇÃO DA PLANIMETRIA



3.3.5.2 Retificação

A retificação do arquivo digital, isto é, a transformação da projeção central da aerofoto para a projeção ortogonal foi processada pelo programa de monorestituídor digital. As etapas de trabalho foram as seguintes:

- *Definição dos dados do projeto:* foram cadastrados todos os dados inerentes a realização do trabalho: os dados do certificado de calibração da câmara, pontos de apoio e definição das precisões do projeto;
- *Orientação Interior:* com as leituras armazenadas no arquivo FIDUCIAL.DAT, foi processada a orientação interior possibilitando o posterior ajustamento, visando a correção dos erros sistemáticos da imagem e a transformação de coordenadas instrumentais (gráficas) em fiduciais;
- *Orientação Espacial Aproximada:* esta etapa consiste em determinar um modelo matemático aproximado para ser empregado na transformação de coordenadas fotogramétricas em coordenadas geodésicas planas no referencial local e realizar a verificação de possíveis erros grosseiros nos pontos de apoio (MITISHITA, 1997). A transformação linear projetiva no plano, pode aproximar a superfície e apresentar resultados satisfatórios para regiões não muito acidentadas. Este modelo matemático é apresentado pelas equações (2.23). As leituras de pontos de apoio foram armazenadas em um arquivo chamado PONTOS.DAT;
- *Orientação Espacial Exata:* nesta etapa foram processadas as leituras dos pontos fotogramétricos, determinando-se os parâmetros de orientação exterior da aerofoto. O arquivo com leituras utilizado no processamento foi o PONTOS.DAT;
- *Retificação das Coordenadas Fotogramétricas para as Coordenadas Geodésicas Locais:* o arquivo digital (composto por pontos com coordenadas gráficas) produzido pelo Geographics, foi retificado da projeção central para uma projeção ortogonal. Da projeção ortogonal aplicou-se uma transformação para o Referencial Geodésico Local e finalmente, para uma projeção cartográfica UTM.

3.3.6 Reambulação

A reambulação consistiu nas tarefas complementares de campo que permitiram a obtenção de toponímias (nome de ruas, de praças, escolas, etc), bem como a verificação e determinação de elementos que geraram dúvidas de interpretação no instante da vetorização. Adicionalmente foram obtidas imagens digitais das fachadas das edificações visando o seu emprego no banco de dados.

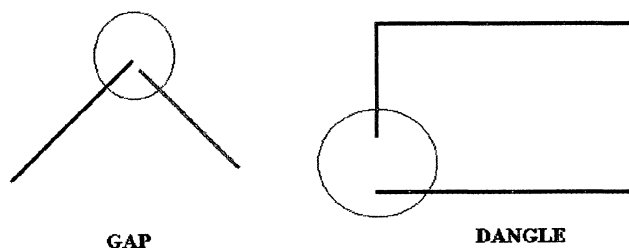
3.3.7 Edição dos Arquivos Vetoriais

Nesta etapa procedeu-se a adequação das entidades gráficas retificadas e inserção dos símbolos cartográficos. O ponto que representava cada edificação foi substituído por símbolo pontual característico. As questões referentes a criação de polígonos fechados representantes dos lotes foi processada utilizando-se de ferramentas para criação topológica do programa GEOGRAPHICS.

3.3.8 Criação Topológica

As tarefas de limpeza topológica consistiram na eliminação de elementos duplicados, resíduos gráficos como pequenos trechos de linhas, espaços em branco entre pontos (gaps) e junção de elementos lineares (dangles) (BENTLEY, 2000). A Figura 23 ilustra esta situação.

FIGURA 23 – LIMPEZA TOPOLÓGICA



A etapa de criação topológica compreendeu as tarefas de criação dos centros geométricos (centróides) representativos dos lotes urbanos e a criação das áreas fechadas destes lotes. Para a realização destas tarefas foram utilizadas as ferramentas disponíveis no GEOGRAPHICS.

3.3.9 Análise dos Arquivos Gerados

Para verificação das precisões dos arquivos gerados pelo processo da monorestituição foram considerados como corretos os arquivos vetoriais provenientes da restituição convencional. Procedendo-se de igual maneira a CORTES (1998), TUDOR&SUGARBAKER (1993) e OIMOEN (1987) foram obtidas as coordenadas pontuais que compõem os elementos gráficos: quadras, cercas, muros e edificações obtidas pela monorestituição com as equivalentes obtidas através da estereorestituição.

3.3.10 Implantação do Sistema de Informações Geográficas

Normalmente, os trabalhos para a implantação de um SIG acontecem na seguinte sequência:

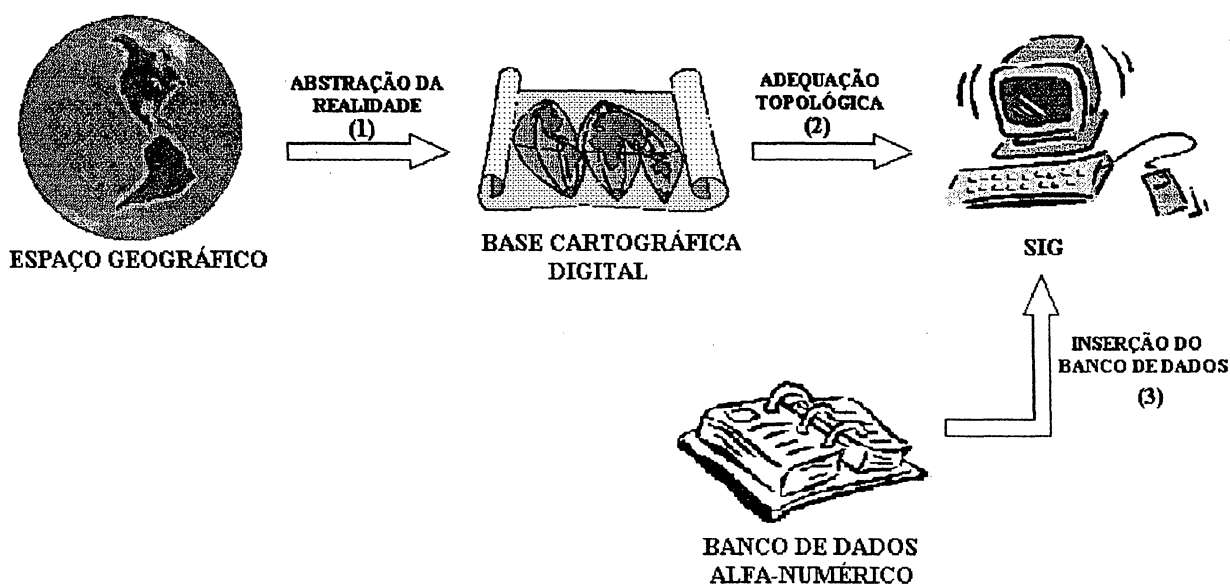
- *geração das bases cartográficas*: é o processo de obtenção dos dados representativos da realidade física (dados geográficos);
- *adequação das bases cartográficas*: é uma das etapas mais demoradas pois, em muitos casos as bases cartográficas são geradas em um formato de arquivo digital não compatível com o SIG adotado, sendo necessária a importação destas bases, ocorrendo uma série de inconsistências. Um exemplo bastante típico é aquele relacionado com os textos. Concluída a etapa de formatação dos dados geográficos procede-se todo o trabalho de criação topológica.
- *padronização das informações alfa-numéricas*: todas as informações não-gráficas (tabelas, textos, imagens digitais entre outras) deverão estar contidas em um banco de dados relacional e inter-ligadas (as informações provêm de várias fontes,

tais como, tributação, administração, planejamento, educação e saúde) por um elemento comum. Neste trabalho o elemento comum escolhido foi a indicação fiscal de cada lote urbano, uma vez que o mesmo é único.

- *ligação do banco de dados alfa-numérico com a base cartográfica*: a etapa subsequente envolve a ligação das informações tabulares com a sua ocorrência geográfica. Esta pode ser considerada a etapa primordial para a extração de informações corretas do SIG, pois as conexões feitas de forma errônea ocasionarão efeitos não previsíveis.

A Figura 24 mostra estas etapas convencionais para implantação de um SIG.

FIGURA 24 – ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SIG



- Neste trabalho a etapa número dois não foi necessária, uma vez que a geração do mapeamento ocorreu em um SIG.

3.3.11 Customização do Sistema de Informações Geográficas

Visando facilitar a utilização do programa Geographics, foi realizada a customização do ambiente de trabalho do programa. Foram disponibilizadas as ferramentas mais comumente utilizadas e procedida a tradução dos menus de língua

inglesa para a portuguesa. Com isso, a manipulação do sistema tornou-se mais agradável e intuitiva.

3.3.12 Criação de Interface para Consulta ao Banco de Dados

O programa escolhido para o gerenciamento do banco de dados foi o Access da Empresa Microsoft, devido a facilidade de utilização e a grande disseminação nas instituições. Como a grande maioria das prefeituras apresentam em suas municipalidades uma população urbana em torno de 30.000 habitantes, e os dados referentes a esta população estão descentralizados em secretarias, a massa de dados poderá ser facilmente acomodada no programa escolhido.

Outra facilidade oferecida por este gerenciador de banco de dados é a possibilidade de criação de formulários que atendam a demandas específicas. Por isso, procedeu-se a criação de uma interface de consulta ao banco de dados, visando testar a sua funcionalidade.

3.3.13 Integração do SIG com a Interface de Consulta

Concluída a criação da interface de consultas no programa Access, procedeu-se a sua integração com o programa Geographics. Para a troca de dados entre estes dois programas foi utilizada a programação em Basic.

A versão Basic do Geographics, permite a implementação do protocolo OLE (Incorporação e Vinculação de Objetos) com o Access. A Automação OLE é uma característica do “Microsoft Object Linking and Embedding”, que permite acessar e manipular objetos de outro aplicativo externo a este. Esses objetos expostos são chamados objetos de Automação OLE. Aplicativos diferentes podem expor diferentes tipos de objetos OLE. Por exemplo, um aplicativo de planilha eletrônica pode expor uma planilha, gráfico, célula ou intervalo de células como diferentes tipos de objetos. Os objetos OLE só podem ser acessados utilizando uma linguagem de programação

como o Access Basic. Estes objetos não são visíveis e são criados utilizando código. O aplicativo que expõe o objeto OLE é chamado *servidor* e o que utiliza os objetos são chamados *cliente*. (HALVORSON, 1999).

Neste trabalho, o Geographics passa a ser um servidor OLE podendo ser acessado por uma aplicação cliente, no caso, o Access.

4.0 RESULTADOS

São apresentados os resultados obtidos a partir da metodologia proposta.

4.1 DIAGNÓSTICO DAS NECESSIDADES

Como o trabalho que foi implementado visa atender uma clientela específica (prefeituras) e as prestadoras de serviço optou-se por pesquisar as necessidades junto a estes usuários. Esta pesquisa consistiu basicamente em entrevistas com o pessoal técnico das municipalidades e, também, através da participação na Câmara de Cartografia do Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Joinville. As prefeituras que foram visitadas são:

- Lapa (Pr);
- Colombo (Pr);
- Campo Largo (Pr);
- São José dos Pinhais(Pr);
- Mandirituba (Pr);
- Canoinhas (Sc);
- Papanduva (Sc);
- Jaraguá do Sul (Sc);
- São Bento do Sul (Sc);
- Fraiburgo (Sc).

Foram questionadas as necessidades das prefeituras com relação a cartografia e o que seria essencial para a implantação de um SIG. A partir disto, foram elaborados itens comuns às municipalidades:

- a) As prefeituras municipais demandam de poucos recursos financeiros. É notório o retorno proveniente da disponibilização de uma base cartográfica digital atualizada, porém, todos os técnicos entrevistados destacaram a resistência por parte das autoridades na disponibilização dos recursos

necessários, devido aos grandes valores envolvidos na geração da base cartográfica;

- b) A maioria dos técnicos entrevistados têm pouca experiência com cartografia digital;
- c) Todos os dados nas prefeituras estão relacionados a indicação fiscal de cada lote urbano;
- d) A necessidade por bases cartográficas digitais que facilite a sua utilização no cotidiano. Neste sentido a presença das edificações restituídas no lotes urbanos tem caráter apenas tributário. Para a maioria das atividades de planejamento que poderiam ser realizadas através do SIG, seria necessário apenas o mapeamento representativo do arruamento com lotes urbanos;
- e) As edificações restituídas seriam um indicativo para as atividades de cadastro no campo. Portanto, o cruzamento visual entre o que está presente no cadastro da prefeitura e o que foi registrado pelo recobrimento aerofotogramétrico atenderia perfeitamente a esta necessidade.

Baseado nos itens acima, fica evidenciado que a presença de edificações no mapeamento digital é facultativa, e que é primordial a representação dos limites dos lotes urbanos, bem como os respectivos arruamentos. O limite dos lotes urbanos no recobrimento aerofotogramétrico por vezes é prejudicado por encobrimentos como árvores ou mesmo edificações geminadas. Para suprir esta deficiência, foi solicitado junto a prefeitura municipal de Lapa a distribuição dos lotes urbanos em cada quadra. (ANEXO 01).

4.2 RESULTADOS DAS ORIENTAÇÕES DAS AEROFOTOS

Antes de iniciar a vetorização dos temas para a produção do mapa digital, optou-se por realizar as orientações necessárias das aerofotos: interior, espacial aproximada e espacial exata. Esta priorização teve por objetivo principal a detecção de possíveis erros. Para proceder-se as orientações das aerofotos foram utilizados dois aplicativos que acompanham o programa monorestituído digital (FIDUCIAL.MA e

PONTOS.MA). Este trabalho consistiu basicamente no posicionamento do cursor do programa Geographics sobre as marcas fiduciais (orientação interior) e pontos fotogramétricos (orientação espacial), pressionando-se a tecla do mouse a fim de capturar a posição do cursor no referencial gráfico do programa.

Os pontos de apoio corresponderam aos pontos fotogramétricos anteriormente utilizados pela restituição convencional e cujas coordenadas no sistema de projeção UTM foram determinadas pela aerotriangulação. A escolha dos pontos de apoio obedeceu a distribuição dos pontos de Von Gruber.

A orientação interior para a aerofoto 290 apresentou resíduos médios (mm): $x = 0.008$ e $y = 0.004$. Para a aerofoto 291 os resíduos médios foram: $x = 0.008$ e $y = 0.002$. As Tabelas 03e 04apresentam os resíduos para cada leitura nas respectivas fotos.

TABELA 03– RESÍDUOS (mm) NAS LEITURAS DAS MARCAS FIDUCIAS DA AEROFOTO 290

MARCA	Vx (mm)	Vy (mm)	RVxy (mm)
1	0.007	0.003	0.008
2	0.007	0.003	0.008
3	-0.007	-0.003	0.008
4	-0.007	-0.003	0.008

TABELA 04 – RESÍDUOS (mm) NAS LEITURAS DAS MARCAS FIDUCIAS DA AEROFOTO 291

MARCA	Vx (mm)	Vy (mm)	RVxy (mm)
1	0.007	0.002	0.007
2	0.007	0.002	0.007
3	-0.007	-0.002	0.007
4	-0.007	-0.002	0.007

A orientação espacial aproximada da aerofoto 290 apresentou os resíduos médios (m): $X = 1,268$ e $Y = 1,754$. A Tabela 05 apresenta os resíduos para cada ponto de apoio. Deve-se lembrar que esta orientação se utiliza de um modelo matemático aproximado, o que pode ocasionar o surgimento de erros acima das precisões almejadas para o trabalho.

TABELA 05 – RESÍDUOS (m) NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL APROXIMADA DA AEROFOTO 290

PONTO	V _x (m)	V _y (m)	RV _{xyz} (m)
6058	0.558	0.379	0.675
6057	-0.762	0.068	0.765
6100	-1.160	2.405	2.670
6049	-1.124	0.111	1.129
6098	-1.789	-0.489	1.854
3072	-0.697	-3.454	3.523
3071	1.780	1.921	2.619
6097	1.362	-0.220	1.380
6102	1.451	1.308	1.954
6096	0.380	-2.029	2.064

Para a orientação espacial aproximada da aerofoto 291 os resíduos médios (m) foram: X = 1,666 e Y = 4,764. A Tabela 06 apresenta os resíduos para cada ponto de apoio na aerofoto 291.

TABELA 06 – RESÍDUOS (m) NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL APROXIMADA DA AEROFOTO 291

PONTO	V _x (m)	V _y (m)	RV _{xyz} (m)
3071	1.207	6.936	7.041
6097	-2.091	-0.803	2.240
6098	0.029	-1.817	1.817
6049	-0.891	-6.645	6.704
3070	0.160	-0.273	0.317
6048	0.479	4.719	4.743
6045	-0.194	-1.444	1.457
6092	-2.939	7.231	7.806
6095	1.745	-3.902	4.275
6094	2.526	-3.970	4.705

A última etapa na orientação das aerofotos foi a Orientação Espacial Exata. Para a aerofoto 290 os resíduos médios (em metros) nos pontos de apoio foram: X = 0.371, Y = 0.471 e Z = 0.202. A tabela 07 apresenta os resíduos para cada ponto da referida aerofoto.

TABELA 07 – RESÍDUOS (m) NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL EXATA DA AEROFOTO 290

PONTO	V_x (m)	V_y (m)	V_z (m)	RV_{xyz} (m)
6058	0.024	-0.632	-0.368	0.731
6057	0.035	0.461	0.182	0.497
6100	-0.306	-0.098	0.173	0.365
6049	0.800	-0.326	0.277	0.907
6098	0.214	0.223	-0.111	0.328
6093	-0.172	0.623	-0.276	0.703
3072	-0.165	-0.763	0.152	0.795
3071	-0.323	0.525	-0.011	0.617

Na aerofoto 291 os resíduos médios (m), na orientação espacial exata, para os pontos de apoio foram: $X = 0.499$, $Y = 0.469$ e $Z = 0.340$. A Tabela 08 apresenta os resíduos para os pontos de apoio nesta orientação.

TABELA 08 – RESÍDUOS (m) NAS LEITURAS DOS PONTOS DE APOIO PARA A ORIENTAÇÃO ESPACIAL EXATA DA AEROFOTO 291

PONTO	V_x (m)	V_y (m)	V_z (m)	RV_{xyz} (m)
3071	0.113	-0.032	-0.065	0.134
6097	-0.614	-0.894	0.607	1.243
6098	0.204	0.435	-0.366	0.604
6049	0.801	0.019	-0.017	0.802
3070	-0.517	0.043	-0.001	0.518
6048	-0.327	-0.555	-0.515	0.825
6045	0.289	0.687	0.489	0.891
6092	0.547	0.387	-0.097	0.677

Os resíduos dos pontos de apoio apresentaram valores médios em torno de 0,40 m o que é aceitável para este trabalho, uma vez a escala nominal das aerofotos é 1/8.000 e o maior erro em um sistema fotogramétrico analítico, que é a marca estereoscópica, mede 0,050 mm. Este erro no terreno resulta em 0,40 m (MITISHITA&OLIVAS, 1999).

4.3 VETORIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO PLANIMÉTRICA

Para a produção do mapa urbano foram escolhidas duas áreas nas aerofotos 290 e 291. O processo de vetorização da informação planimétrica, que correspondeu aos muros, cercas, quadra e edificações está ilustrado pela Figura 22.

Para a vetorização destas informações foram utilizadas linhas e polilinhas disponibilizadas pelo Geographics. As edificações foram posicionadas através de um ponto na parte central das mesmas, de tal maneira que o símbolo que foi posteriormente inserido estivesse orientado para frente do lote urbano.

A área da aerofoto 290 (área 01) totalizou 0,18 km² (ANEXO 02), e está localizada na região central daquela cidade. A área da aerofoto 291 (área 02) totalizou 0,17 km² e está situada em uma região periférica (ANEXO 03).

Para auxiliar os trabalhos de vetorização da informação planimétrica foram utilizados um estereoscópio de espelhos e o limite dos lotes urbanos de cada quadra (ANEXO 01). O estereoscópio de espelhos amenizou uma deficiência da monorestituição que é a extração de informações a partir de uma aerofoto singular. Desta maneira conjugando os limites dos lotes urbanos e a estereoscopia, a coleta das informações planimétricas ocorreu com o mínimo de dúvidas possível, reduzindo-se custos referentes aos trabalhos de campo.

4.4 RETIFICAÇÃO DOS ARQUIVOS DIGITAIS

Os arquivos digitais provenientes da vetorização apresentam coordenadas no referencial gráfico, ou seja, da fotografia aérea que é uma projeção central. Para transformar a projeção central da aerofoto para uma projeção ortogonal (de mapa) foi procedida a retificação gráfica, obtendo-se um arquivo resultado. Como citado, anteriormente, a fundamentação matemática da retificação citada foi apresentada por MAKAROVIC (1973). Este modelo consiste em transformar coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) observadas nas aerofotos para coordenadas no referencial geodésico tridimensional local (X_L, Y_L, Z_L), utilizando-se das equações de colinearidade

inversa e de informação altimétrica proveniente do modelamento matemático de superfícies (MDT). Estas equações são novamente apresentadas:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{m_{11} \cdot x + m_{21} \cdot y + m_{31} \cdot c}{m_{13} \cdot x + m_{23} \cdot y + m_{33} \cdot c} \\ Y &= Y_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{m_{12} \cdot x + m_{22} \cdot y + m_{32} \cdot c}{m_{13} \cdot x + m_{23} \cdot y + m_{33} \cdot c} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Este processo denominado de retificação planimétrica, necessita dos parâmetros de orientação interior e exterior de cada aerofoto e do MDT. Este último, que possibilitou a interpolação da coordenada altimétrica (Z_L) em função das coordenadas geodésicas planas (MITISHITA&OLIVAS, 1999). Os valores finais que serão mais precisos (dada uma precisão), são obtidos por um processo iterativo descrito no item 2.9.

4.5 REAMBULAÇÃO

Com auxílio dos arquivos retificados e das fotografias aéreas, procedeu-se a reambulação de campo. Para a coleta das informações referentes aos nomes de ruas, prédio comercial e público foi utilizado um automóvel de passeio. As informações coletadas foram posteriormente comparadas com as existentes nos arquivos da restituição convencional, visando a eliminação de erros.

Adicionalmente, foi empregada uma filmadora digital (fixada no painel do automóvel) para gravar todo o percurso dos trabalhos de campo. A filmadora foi fixada de tal maneira que as imagens obtidas estivessem perpendiculares à trajetória do automóvel. A velocidade de deslocamento não foi superior a 25 km/h. Este cuidado teve por princípio evitar que as imagens apresentassem o efeito de arrasto.

Posteriormente, com auxílio de uma placa de comunicação para conexão da filmadora e do computador, foram escolhidas e armazenadas as imagens que melhor representassem a ocupação de cada lote urbano. O critério para escolha das imagens

representativas foi que toda a frente do lote urbano estivesse registrada na imagem e a qualidade das mesmas permitisse a correta interpretação.

As imagens selecionadas foram então armazenadas no banco de dados com o nome referente a indicação fiscal do lote urbano imageado. O Anexo 04 mostra uma destas imagens.

4.6 EDIÇÃO GRÁFICA

Esta etapa de trabalho correspondeu a inserção das toponímias nos arquivos retificados. Criou-se uma máscara contendo o carimbo e a legenda representativa a cada informação. Foi procedida também a substituição dos pontos que representaram a fachada das edificações pelo respectivo símbolo cartográfico. A Figura 25 apresenta os símbolos cartográficos gerados para a representação das edificações.

FIGURA 25 – SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS CRIADOS PARA A REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES



Foram criados quatro categorias referentes as edificações visando facilitar a consulta ao mapa impresso. Estas quatro categorias dizem respeito as edificações residenciais, públicas e comerciais. O quarto símbolo foi criado especialmente para indicar aqueles lotes com alterações, o que otimiza os trabalhos de campo referentes ao cadastro. Visando tornar os símbolos compatíveis com a escala proposta, de tal

maneira a serem visualizados facilmente em uma impressão, optou-se em dimensioná-los com uma área equivalente a 95 metros.

Para a obtenção do mapeamento das duas áreas, que totalizaram 0,35 km², foram necessárias 2,8 horas de trabalho. Baseados neste valores, estima-se que sejam necessárias 8 horas de trabalho por quilômetro quadrado. No processo convencional de restituição de áreas urbanas isto equivaleria a pelo menos 30 horas de trabalho.

Como o processo de monorestituição digital requer equipamentos de baixo custo e pessoal com menor qualificação, isto torna-se bastante atrativo e possibilita o acesso a bases cartográficas com menor custo.

Os mapas obtidos pelo processo de monorestituição associado a utilização de símbolos cartográficos foram impressos em escala 1/2.500 e estão mostrados no anexo 05.

4.7 RESULTADOS DA MONORESTITUIÇÃO DIGITAL

Concluído os trabalhos de edição, procedeu-se a comparação dos arquivos obtidos pela monorestituição e restituição estereoscópica. Para tanto, foram extraídas (utilizando-se dos valores fornecidas pelo cursor) as coordenadas referentes as entidades obtidas pelos dois processos. Foram feitas comparações com os seguintes níveis de informação:

- pontos referentes as quadras definidas;
- pontos referentes a muros e cercas;
- pontos referentes a edificações.

Para proceder a análise dos erros, admitiu-se a precisão de um mapeamento aerofotogramétrico digital em função da escala média das aerofotos e do máximo erro tolerável no posicionamento da marca de medida (marca estereoscópica) num sistema fotogramétrico analítico, ou seja, o valor de 0,050 mm (MITISHITA&OLIVAS, 1999). Como a escala média das aerofotos utilizadas neste trabalho é 1/8.000, resulta em um erro admissível no mapeamento digital de 0,40 metros.

Referindo-se a ANDRADE (1998), pode ser empregado o erro padrão quando se diz que, ao valor de uma determinada medida está associado um determinado valor de desvio padrão, significa que há 68,27% de chance de que a média real esteja dentro do intervalo dado pela média amostral $\pm 1\sigma$, medida que recebeu a denominação de erro padrão.

As tabelas 09, 10 e 11 apresentam as diferenças encontradas para as informações citadas.

TABELA 09 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS QUADRAS DEFINIDAS

Monorestituição		Restituição Convencional		Diferenças	
E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
628787,180	7148885,080	628786,930	7148885,620	0,250	-0,540
628811,570	7148710,560	628812,030	7148710,120	-0,460	0,440
628664,030	7148565,880	628663,760	7148565,230	0,270	0,650
628636,600	7148668,790	628636,900	7148669,220	-0,300	-0,430
628603,570	7148806,140	628603,840	7148805,960	-0,270	0,180
628565,750	7148944,500	628566,110	7148944,560	-0,360	-0,060
628414,410	7149044,250	628414,220	7149044,300	0,190	-0,050
628446,420	7148914,370	628446,950	7148914,590	-0,530	-0,220
628477,910	7148784,180	628478,040	7148784,090	-0,130	0,090
628510,670	7148650,940	628510,650	7148650,800	0,020	0,140
628632,150	7148561,700	628632,240	7148561,630	-0,090	0,070
629277,080	7149112,840	629276,850	7149112,810	0,230	0,030
629150,710	7148950,310	629151,390	7148950,340	-0,680	-0,030
629153,520	7148940,970	629153,652	7148941,139	-0,132	-0,169

As **médias** das discrepâncias absolutas para as coordenadas de pontos de quadras resultaram:

$$\Delta E = -0,142 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,007 \text{ m};$$

Os **desvios padrões** resultaram:

$$\Delta E = 0,308 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,309 \text{ m};$$

Considerando o erro padrão, obtêm-se um intervalo de confiança de $\pm 1\sigma$, (mais ou menos 1 desvio padrão), que corresponde a uma probabilidade de 68,27% da

média estar contida no intervalo. Com isso os erros padrões resultaram em $\pm 0,308$ metros para a coordenada leste (E) e $\pm 0,309$ metros para a coordenada norte (N).

Analisando a tabela, verifica-se que 68,27% dos pontos para ambas as coordenadas estão dentro do intervalo especificado e estão dentro dos limites de erros aceitáveis para a referida escala de trabalho.

TABELA 10 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS CERCAS E MUROS

Monorestituição		Restituição Convencional		Diferenças	
E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
629.063,740	7.148.768,430	629.063,640	7.148.768,120	0,100	0,310
29.077,900	7.148.772,280	629.077,210	7.148.772,030	0,690	0,250
629.084,180	7.148.749,730	629.083,460	7.148.749,290	0,720	0,440
629.294,070	7.148.966,710	629.294,500	7.148.966,420	-0,430	0,290
629.300,530	7.148.969,920	629.300,760	7.148.969,790	-0,230	0,130
629.317,370	7.148.963,580	629.316,810	7.148.963,880	0,560	-0,300
629.218,380	7.148.984,270	629.218,150	7.148.984,272	0,230	-0,002
629.171,120	7.148.982,560	629.170,990	7.148.982,940	0,130	-0,380
629.074,730	7.148.989,800	629.074,730	7.148.989,950	0,000	-0,150
629.094,780	7.149.001,730	629.095,440	7.149.001,670	-0,660	0,060
628.948,640	7.149.095,820	628.948,950	7.149.096,120	-0,310	-0,300
629.018,840	7.149.095,460	629.018,810	7.149.095,650	0,030	-0,190
629.088,200	7.149.132,110	629.088,690	7.149.132,370	-0,490	-0,260
629.044,720	7.148.913,360	629.044,760	7.148.913,880	-0,040	-0,520
629.083,850	7.148.891,880	629.083,600	7.148.892,040	0,250	-0,160
629.065,810	7.148.839,420	629.065,900	7.148.839,990	-0,090	-0,570
629.117,410	7.148.763,950	629.117,190	7.148.763,550	0,220	0,400
629.073,090	7.148.740,510	629.073,530	7.148.740,608	-0,440	-0,098
629.135,770	7.148.873,040	629.135,610	7.148.873,750	0,160	-0,710
629.124,580	7.148.901,180	629.124,010	7.148.901,600	0,570	-0,420
629.158,460	7.148.895,000	629.157,980	7.148.895,580	0,480	-0,580
629.167,890	7.148.895,340	629.168,020	7.148.895,510	-0,130	-0,170
629.207,620	7.148.953,150	629.207,560	7.148.952,730	0,060	0,420
629.190,990	7.148.964,480	629.191,080	7.148.964,520	-0,090	-0,040
629.121,640	7.149.027,800	629.121,710	7.149.027,740	-0,070	0,060
629.225,710	7.149.044,580	629.225,700	7.149.044,990	0,010	-0,410
629.306,190	7.149.045,340	629.305,850	7.149.045,020	0,340	0,320
628.991,490	7.149.075,710	628.992,210	7.149.076,150	-0,720	-0,440
628.927,430	7.149.222,330	628.928,230	7.149.222,380	-0,800	-0,050
628.605,010	7.148.804,290	628.604,460	7.148.804,470	0,550	-0,180
628.417,440	7.149.044,760	628.416,960	7.149.044,520	0,480	0,240
628.469,920	7.148.944,380	628.469,337	7.148.944,330	0,583	0,050
628.455,010	7.148.881,770	628.455,710	7.148.881,900	-0,700	-0,130

Monorestituição		Restituição Convencional		Diferenças	
E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
628.515,840	7.148.823,810	628.516,010	7.148.823,300	-0,170	0,510
628.670,510	7.148.742,760	628.670,500	7.148.742,940	0,010	-0,180
628.727,070	7.148.733,110	628.726,230	7.148.733,990	0,840	-0,880
628.518,860	7.148.622,000	628.519,140	7.148.621,570	-0,280	0,430
628.631,280	7.148.565,330	628.631,060	7.148.565,620	0,220	-0,290
628.709,070	7.148.572,440	628.708,680	7.148.572,150	0,390	0,290
628.691,500	7.148.680,690	628.690,970	7.148.680,310	0,530	0,380
628.668,210	7.148.775,360	628.667,960	7.148.775,750	0,250	-0,390
628.672,100	7.148.979,003	628.671,890	7.148.978,660	0,210	0,343
628.769,430	7.148.903,160	628.768,670	7.148.903,830	0,760	-0,670

Para as cercas e muros foram obtidas as seguintes **médias** absolutas das discrepâncias:

$$\Delta E = 0,423 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,359 \text{ m};$$

Os **desvios padrões** resultaram:

$$\Delta E = 0,092 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,092 \text{ m}.$$

Aplicando-se o conceito de erro padrão encontra-se um intervalo de erro aceitável de $\pm 0,092$ metros para ambas as coordenadas. Com isso, verifica-se que 68,27% dos pontos testados estão dentro dos erros aceitáveis para a escala da aerofoto (0,40 metros).

Com relação as edificações, como não se tem informações altimétricas que permitam o modelamento matemático de uma superfície que leve em conta as alturas das edificações, as coordenadas planimétricas dos pontos que definem a edificação são fortemente afetadas pelo deslocamento da imagem devido a projeção central que varia em função da altura da edificação e sua localização no quadro negativo, em relação ao ponto principal da aerofoto (MITISHITA&OLIVAS, 1999). Aliado a isto, cita-se novamente, que as prefeituras tem todos os seus dados atrelados a unidade fiscal mínima que é o lote urbano, portanto, para a maioria das aplicações em SIG bastaria a representação dos limites dos lotes urbanos.

TABELA 11 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS EDIFICAÇÕES

Monorestituição		Restituição Convencional		Diferenças	
E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
628.476,100	7.148.876,670	628.475,640	7.148.875,710	0,460	0,960
628.512,680	7.148.895,500	628.512,810	7.148.897,130	-0,130	-1,630
628.507,140	7.148.859,170	628.506,560	7.148.860,120	0,580	-0,950
628.495,050	7.148.809,740	628.495,240	7.148.811,610	-0,190	-1,870
628.509,462	7.148.796,780	628.510,040	7.148.795,220	-0,578	1,560
628.508,770	7.148.813,250	628.508,950	7.148.814,450	-0,180	-1,200
628.529,940	7.148.838,500	628.530,660	7.148.839,780	-0,720	-1,280
628.545,670	7.148.852,090	628.545,430	7.148.854,310	0,240	-2,220
628.528,180	7.148.888,270	628.527,920	7.148.890,270	0,260	-2,000
628.548,800	7.149.022,780	628.549,660	7.149.024,170	-0,860	-1,390
628.670,520	7.148.814,590	628.671,140	7.148.813,090	-0,620	1,500
628.750,350	7.148.802,630	628.748,540	7.148.806,560	1,810	-3,930
629.063,740	7.148.768,430	629.063,640	7.148.774,120	0,100	-5,690
629.077,900	7.148.772,280	629.077,210	7.148.778,030	0,690	-5,750
629.084,180	7.148.749,730	629.083,460	7.148.756,290	0,720	-6,560
629.294,070	7.148.966,710	629.292,500	7.148.969,420	1,570	-2,710
629.302,530	7.148.969,920	629.300,760	7.148.972,790	1,770	-2,870
629.317,370	7.148.963,080	629.316,810	7.148.963,880	0,560	-0,800
629.218,380	7.148.984,270	629.218,150	7.148.985,270	0,230	-1,000
629.171,120	7.148.982,560	629.170,990	7.148.982,940	0,130	-0,380
629.074,730	7.148.988,800	629.074,730	7.148.989,950	0,000	-1,150
629.094,780	7.149.000,730	629.095,440	7.149.001,670	-0,660	-0,940

As **médias** absolutas das discrepâncias obtidas para as edificações resultaram em:

$$\Delta E = 0,235 \text{ m};$$

$$\Delta N = 1,832 \text{ m};$$

Os **desvios padrões** resultaram:

$$\Delta E = 0,762 \text{ m};$$

$$\Delta N = 2,141 \text{ m}.$$

O intervalo de erro aceitável resulta em $\pm 0,762$ metros para as coordenadas (E) e $\pm 2,141$ metros para a coordenada (N) o que está fora das precisões admitidas para a escala média da aerofoto (0,40 metros).

Associando-se a depreciação da precisão no traçado de edificações pelo processo monoscópico e a sua não utilização pelas municipalidades na maioria das suas necessidades, fica reforçado ainda mais a utilização de símbolos pontuais que substituam o traçado de edificações no processo de monorestituição digital. O Anexo 05 mostra os mapas obtidos pela metodologia proposta no trabalho e o Anexo 06 mostra os mapas obtidos pelo processo convencional de restituição.

4.8 CUSTOMIZAÇÃO DO SIG

Concluída a criação do mapeamento digital foram realizadas as atividades inerentes a implementação do SIG. Procedeu-se a limpeza topológica e a criação das áreas correspondentes aos lotes urbanos obtidos através das aerofotos e complementados com o auxílio das plantas referentes a disposição destes em cada quadra (cadastro da prefeitura).

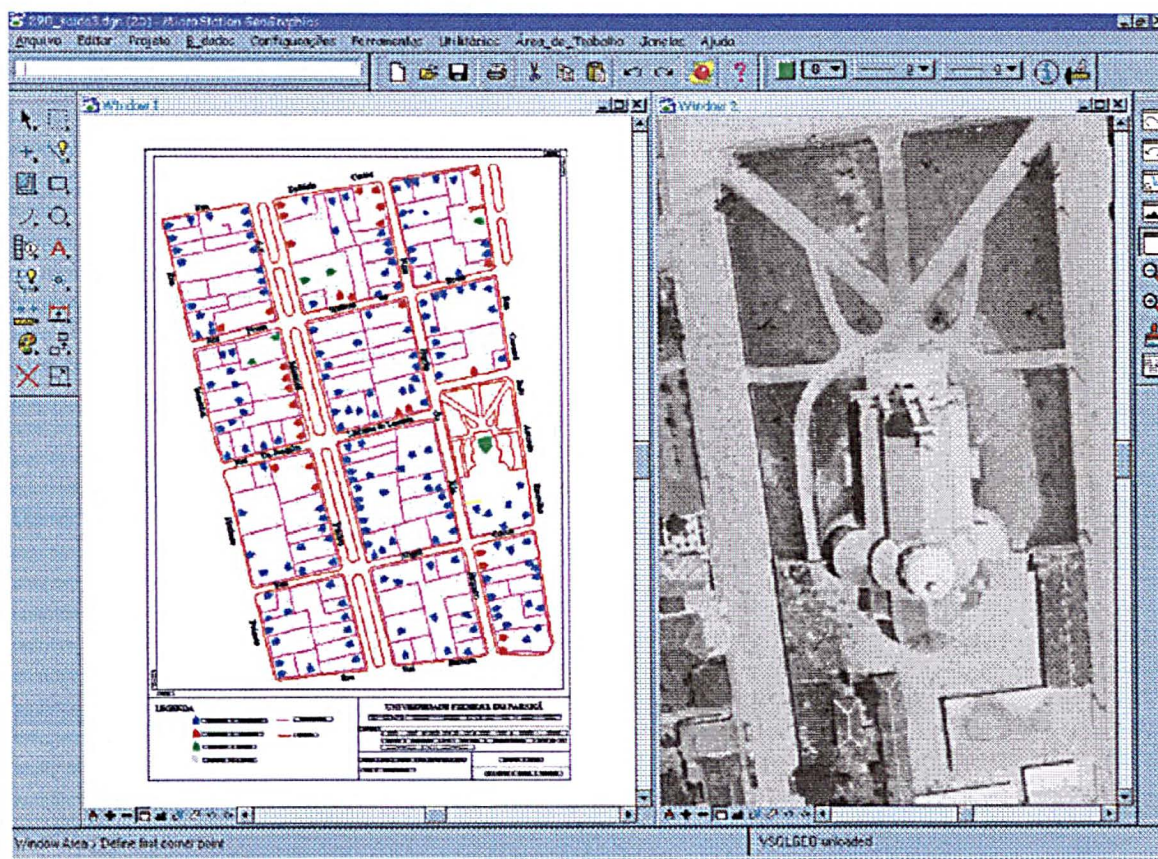
Devido a ordenamento interno da Prefeitura Municipal da Lapa, que preza pelo sigilo das informações referentes aos contribuintes foram cedidos somente os dados analíticos referentes a uma quadra, localizada na área 01. Isto, porém, foi suficiente para a verificação da funcionalidade do SIG.

De posse das informações referentes a cada indicação fiscal da quadra fornecida, foi criado o banco de dados relacionais utilizando-se o Access. O campo referente ao número da indicação fiscal, que é um valor único, foi utilizado como código de ligação do banco de dados relacional com a base cartográfica digital.

Em etapa posterior, foram criados os códigos (textos) referentes a cada lote urbano no mapa digital. Para tanto, foi utilizada a ferramenta de geração automática de centróides do programa Geographics. Os centróides (textos nodais), localizados no centro geométrico de cada parcela urbana, foram editados, de tal maneira que o seu valor corresponda a indicação fiscal do lote. Esta, é portanto, uma das etapas primordiais na criação de um SIG pois se o texto editado estiver incorreto, poderão ocorrer associações que produzirão erros não mensuráveis.

Para a customização do SIG foi realizada a tradução dos menus para a língua portuguesa e a disponibilidade das ferramentas mais utilizadas. Se necessário novas ferramentas poderão ser acionadas. A Figura 26 apresenta o ambiente customizado do Geographics.

FIGURA 26 – INTERFACE CUSTOMIZADA DO PROGRAMA GEOGRAPHICS



Com a customização, o ambiente de trabalho do SIG mostrou-se simplificado e agradável. A facilidade na obtenção de consultas, mapas temáticos, zonas (buffers) e análise topológica e ainda as ferramentas disponíveis pelos aplicativos como o Geoterrain, tornam este SIG apto a solucionar grande parte das necessidades das municipalidades.

4.9 CRIAÇÃO DE UMA INTERFACE DE CONSULTA AO BANCO DE DADOS

Visando ainda disponibilizar uma ferramenta que auxilie na fiscalização e otimização de futuros trabalhos de cadastro, foi desenvolvida uma interface de

consulta ao banco de dados armazenado no Access utilizando-se dos recursos de formulários deste programa. Na interface, além dos dados alfa-numéricos, estão disponibilizadas as imagens digitais referentes a frente do lote urbano, planta cadastral e a vista área da quadra. A Figura 27 apresenta o formulário principal.

FIGURA 27 – FORMULÁRIO PRINCIPAL DA INTERFACE DE CONSULTA AO BANCO DE DADOS

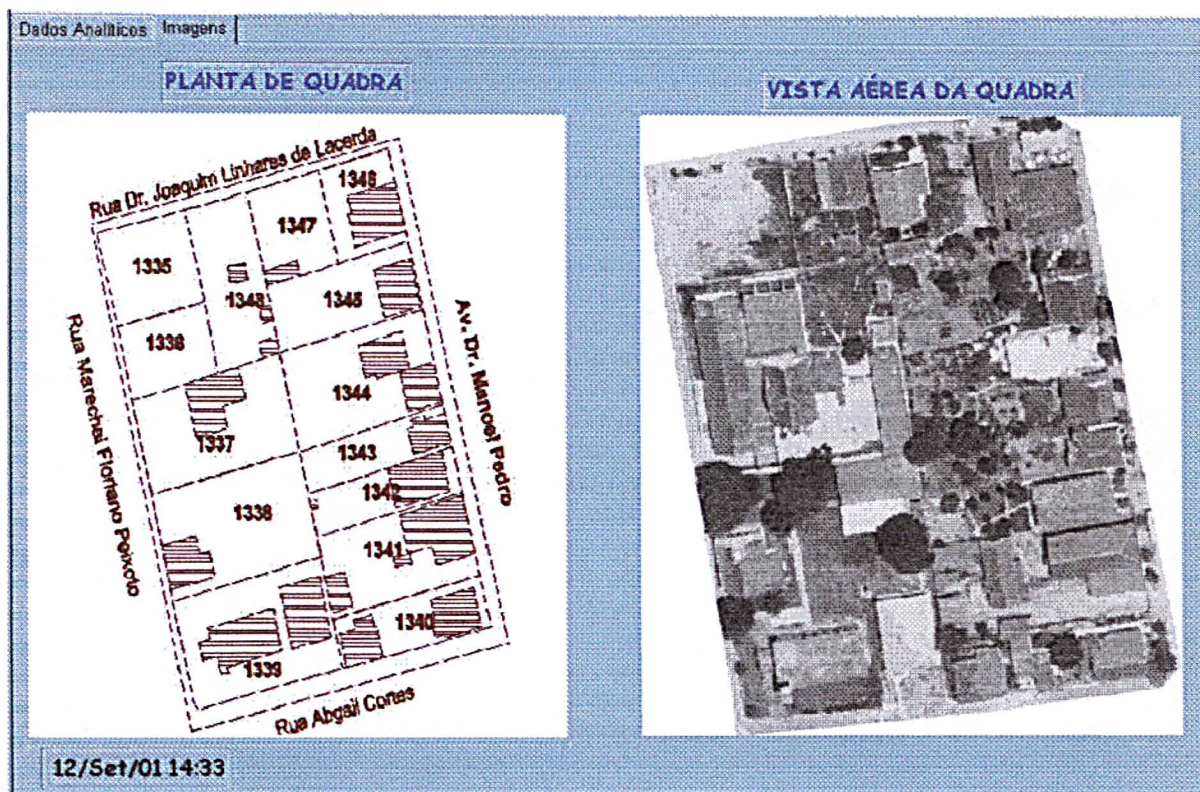
The screenshot shows a software interface with a blue background. At the top, there are two tabs: 'Dados Analíticos' and 'Imagens'. The form contains the following fields and elements:

- INDICAÇÃO FISCAL:** A text box containing '7-23-305-1348'.
- CLASSIFICAÇÃO:** A dropdown menu showing 'B'.
- NOME:** A text box containing 'PAULO DE SOUZA CARVALHO'.
- ENDEREÇO:** A text box containing 'Rua Dr. Joaquim Linhares de Lacerda'.
- TIPO DE CONSTRUÇÃO:** A dropdown menu showing 'Alvenaria'.
- ÁREA DECLARADA:** A text box containing '80'.
- ÁREA MEDIDA:** A text box containing '150'.
- SITUAÇÃO:** A dropdown menu showing 'Verificar em campo'.
- FACHADA DA EDIFICAÇÃO:** A photograph of a white house with a red roof.
- VER MAPA:** A button with a map icon and a tooltip that says 'Visualiza o Mapa'.
- 12/Set/01 14:30:** A date and time stamp in the bottom left corner.

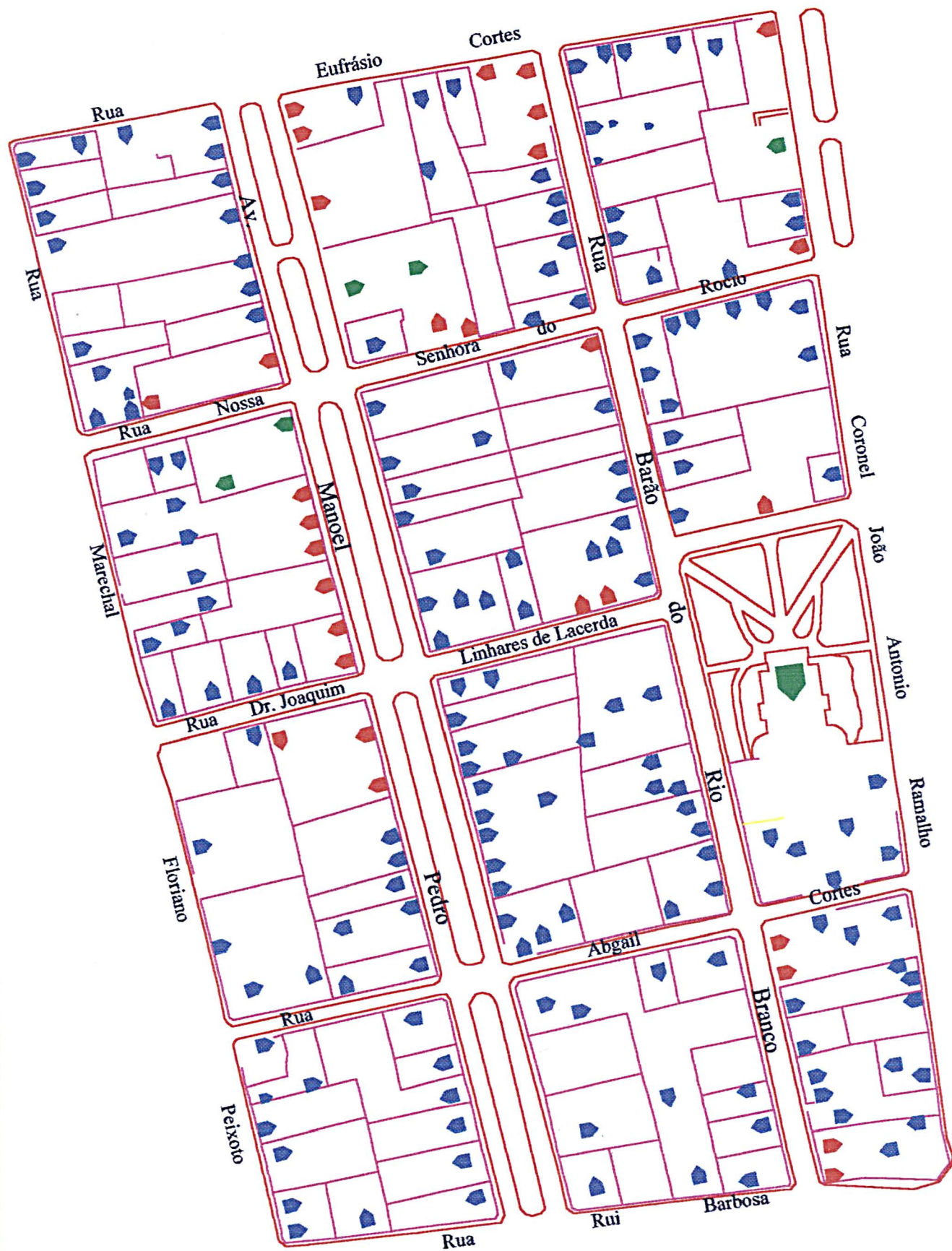
Os dados disponibilizados pela prefeitura municipal referem-se a: indicação fiscal do lote, nome do proprietário, endereço, tipo de construção, área construída (declarada). Além destes, foram adicionados dois campos: sobre a área medida em campo pelo cadastro e a situação do imóvel (atualizado ou verificação em campo). Foram inseridos dois botões de comando: um avisando sobre situação irregular de um imóvel (ativado quando seleciona-se verificar em campo) e o outro dispara a consulta ao Geographics, selecionando na base cartográfica os imóveis evidenciados pelo usuário no formulário.

A detecção de diferenças entre os imóveis declarados (cadastrados) pode ser feita visualmente utilizando o sub-formulário da interface de consultas. A Figura 28 apresente este sub-formulário.

FIGURA 28 – SUB-FORMULÁRIO PARA VERIFICAÇÃO VISUAL



O cruzamento visual da informação cadastrada (planta de quadra) na prefeitura com a real ocorrência que é mostrada na aerofoto (vista aérea da quadra) pode ser realizado facilmente. Com isto, o usuário pode identificar aqueles lotes cujas edificações cadastradas sejam diferentes das mostradas na aerofoto e inserir ou alterar o símbolo da edificação (cor cinza) na base cartográfica digital que está armazenada no Geographics. Os mapas digitais verificados podem ser impressos e servem para orientar os trabalhos da equipe de campo responsável pelo cadastro dos imóveis. Desta maneira somente visitam-se no campo as edificações previamente assinaladas. Nota-se que a detecção de possíveis diferenças tornou-se facilitada, e a inserção ou alteração da do símbolo da edificação detectada poderá ser feita facilmente.



628406

LEGENDA

- | | | | |
|--|------------------------|--|--------------|
| | EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL | | MUROS/CERCAS |
| | EDIFICAÇÃO COMERCIAL | | QUADRAS |
| | EDIFICAÇÃO PÚBLICA | | |
| | VERIFICAR NO CAMPO | | |

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS

PROJETO: MAPEAMENTO DE ÁREA URBANA UTILIZANDO MONORESTITUIÇÃO
DIGITAL ASSOCIADO COM SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS PARA A RE-
PRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

LOCAL: ÁREA URBANA DA CIDADE DE LAPA

DATA: SETEMBRO/2001

ESCALA: 1/2.500

Eng. MARCOS BENEDITO SCHIMALSKI



- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS

Eng. MARCOS BENEDITO SCHIMALSKI

5.0 CONCLUSÕES

Através da metodologia proposta para a geração de mapeamento urbano e dos resultados obtidos conclui-se:

Para a implantação de um sistema de informações geográficas nas municipalidades, uma base cartográfica que contemple os arruamentos, quadras, lotes e as toponímias será suficiente, uma vez que os dados nas prefeituras estão relacionados a identificação de cada parcela urbana (unidade fiscal mínima).

O traçado dos contornos das edificações é facultativo, uma vez que para a cobrança do Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU) é considerada a área construída e não área coberta da edificação.

O processo de monorestituição pode ser empregado pela grande maioria das municipalidades, pois os equipamentos envolvidos tem custo reduzido e necessita de pessoal com menor qualificação para a geração da base cartográfica.

A deficiência de extração de informação de uma aerofoto singular, no que diz respeito a interpretação dos dados é amenizada através da utilização de um estereoscópio de espelhos. A utilização deste equipamento significa redução de custos, uma vez que dúvidas relacionadas a monoscopia podem ser solucionadas no instante da aquisição da informação.

As informações geradas nas bases cartográficas, obtidas pelo processo de monorestituição digital apresentaram desvio padrão, quando comparados a restituição convencional, inferior a acuidade visual de 0,40 m. Portanto, apresentam confiabilidade compatível com a escala nominal.

A substituição do traçado das edificações otimizou o processo de geração das bases cartográficas e apresentou uma interpretação mais intuitiva, o que facilita a utilização das mesmas. O tempo necessário para a geração da base cartográfica pelo processo de monorestituição digital, quando comparado ao gasto pelo processo convencional diminuiu em 70%, e as mesmas já estarão inseridas em um SIG.

A geração da base cartográfica diretamente no SIG apresentou como principal vantagem principal a eliminação da migração de arquivos gráficos. Com isso, não foi necessário trabalho adicional de edição, normalmente empregado após este processo.

A adição de uma interface de consulta ao banco de dados, possibilita a verificação visual de alterações nas áreas construídas em cada unidade fiscal. A partir disto, pode ser produzido um mapa temático referente a unidades fiscais a serem verificadas em campo. Com isto, os trabalhos de cadastro são agilizados e tem o seu custo reduzido, uma vez que são visitadas somente aquelas unidades que apresentaram real alteração.

Com base nas conclusões acima recomenda-se:

Testar a funcionalidade da representação das edificações por símbolo pontual junto às prefeituras;

Implementar uma metodologia que utilize monorestituição digital associada a fotografias aéreas obtidas por câmaras de pequeno formato e também através da videografia;

Utilizar o recurso de programação em Java do Geographics, possibilitando além da troca de dados com a interface de consulta do programa Access o desenvolvimento de soluções mais completas e até mesmo a disponibilização do SIG na internet.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, JOSÉ BITTENCOURT. **Fotogrametria**. Curitiba:1998.

AVERY, THOMAS EUGENE. **Fundamental of Remote Sensing and Air Photo Interpretation**. 5. ed. New Jersey: Prentice-Hall,1997.

BENTLEY SYTEMS. **Geographics J**. Exton, USA, 1993-2000. CD ROM. Programa.

BERTIN, J. A. **A Neográfica e o Tratamento Gráfico da Informação**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1986. (Tradução do curso de Pós-Graduação em História da Universidade Federal do Paraná).

BONHAM, GRAEME. **Geographic Information Systemms for Geoscientists: Modelling with GIS**. 5. ed. Ontario: Delta Printing, 1997.

BOS, EDZARD S. Sismatic Symbol Design in Cartographic Education. **ITC Journal**, Vol. 01, 1984, pp. 20-28.

BURROUGH, P. A. **Principles Of Geographical Information Systems for Land Ressources Assessment**. Clarendo: Press-Oxford, 1989.

CAMPOS, ILCE DE OLIVEIRA. **Análise de Técnicas para o Estabelecimento de Modelos Digitais de Terrenos – DTM**. São Carlos, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CÔRTEZ, JOÃO BATISTA RAMOS. **Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato Digitalizadas, em Mapeamento Topográfico Planimétrico**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

DAVIS, CLODOVEU AUGUSTO. GIS: dos Conceitos Básicos ao Estado da Arte. **Espaço BH**, Vol. 01, 1997, pp 05-08.

FONSECA, FREDERICO TORRES; BORGES, KARLA ALBUQUERQUE DE VASCONCELOS. Cartografia Automatizada e Geoprocessamento- Opção ou Conveniência. **Espaço BH**. Vol. 01, 1997, pp 31-38.

FRANK, A.; GOODECHILD, M. **Two Perspectives on Geographical Data Modelling**. Technical Report. National Center For Geographic Information and Analysis, 1990.

GEMAEL, CAMIL. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1994.

HALVORSON, MICHAEL. **Microsoft Visual Basic 6.0 Professional**. Tradução de Miguel Cabrera Fernandes. São Paulo: Makron Books, 1999.

KEATES, J. S. **Cartographic Design and Production**. 2. ed. New York: Longman Scientific and Technical, 1989.

KIMERLING, A. JON . **Basic Cartography for Students and Technicians**. Londres: Butterworth and Heinemann, 1992, vol. 3.

KORTE, GEORGE B. **The Gis Book: Understanding the Value and Implementation of Geographic Information Systems**. 4. ed. Reston: Intergraph Corporation, 1997.

LINDGREN, C. E. SILVA. **Temas de Planejamento**. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

LUGNANI, JOÃO BOSCO. **Introdução à Fototriangulação**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1987.

MAKAROVIC, B. Digital Mono-ploters. **ITC Journal**, vol. 4, 1973, pp. 583-599.

MAKAROVIC, B.; TEMPFLI K. Digitising Images for Automatic Processing in Photogrammetry. **ITC Journal**, Vol. 1, 1979, pp. 107-126.

MITISHITA, EDSON A. **Monorestituição Digital de Aerofotos Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D. para Fins de Mapeamento na Área Florestal**. Curitiba, 1997. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná.

MITISHITA, E.; OLIVAS, M. Construção de Base Cartográfica Digital Urbana por Monorestituição Digital. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 1., 1999, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1999.

MORGADO, ANA MARIA. Aquisição Digital de Imagens – Scanners. **Cartografia e Cadastro**. n. 9, 1998, pp. 11-18.

OIMOEN, DANIEL C. Evaluation of a Tablet Digitizer for Analytical Photogrammetry. **Photogrammetry Engineering and Remote Sensing**. Vol. 53, n. 6, 1987, pp. 601-603.

RATAJSKI, L. The Research Structure of Teoretical Cartography. **Cartographica**. n.19, 1977, pp. 46-57.

SANTOS, MARIA C. S. R. **Manual de Fundamentos Cartográficos e Diretrizes Gerais para a Elaboração de Mapas Geológicos, Geomorfológicos e Geotécnicos.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1989.

SILVA, I. **Metothologie pour le Lissage et le Filtrage dès Donnees Altimetriques Derivees de la Correlation D'Images.** Lausanne, Suíça, 1990. Tese (Doutorado em Engenharia Rural), Escola Politécnica Federal.

SCHEINOWITZ, ABRAHAM S. **O Planejamento Regional.** Salvador: Gráfica da Universidade Federal da Bahia, 1983.

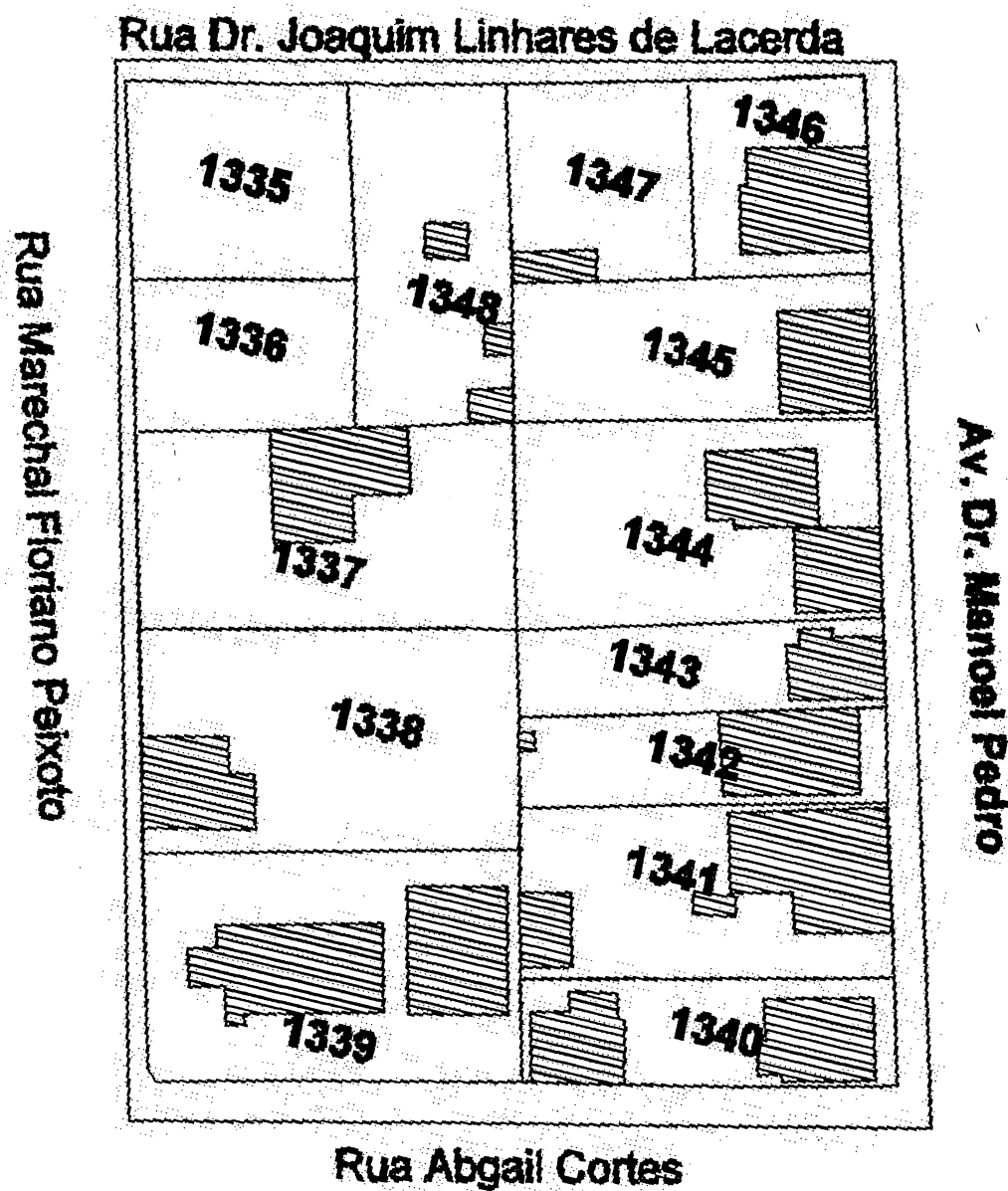
TAIT, D.A. Photo-Interpretation and Topographic Mapping. **Photogrammetric Record.** Vol. 1, 1970, pp. 107-126.

TUDOR, GREGORY S; SUGARBAKER, LARRY J. Gis Orthographic Digitizing of Aerial Photographs by Terrain Modelling. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** Vol. 59, n. 4, 1993, pp. 499-503.

ANEXOS

ANEXO 01

Planta cadastral, pertencente a Prefeitura Municipal de Lapa, produzida em agosto de 1989. Escala original 1:1.000.



ANEXO 02

Localização da área 01 na aerofoto 290. Escala original 1:8.000



Detalhe da área 01.



ANEXO 03

Localização da área 02 na aerofoto 291. Escala original 1:8.000

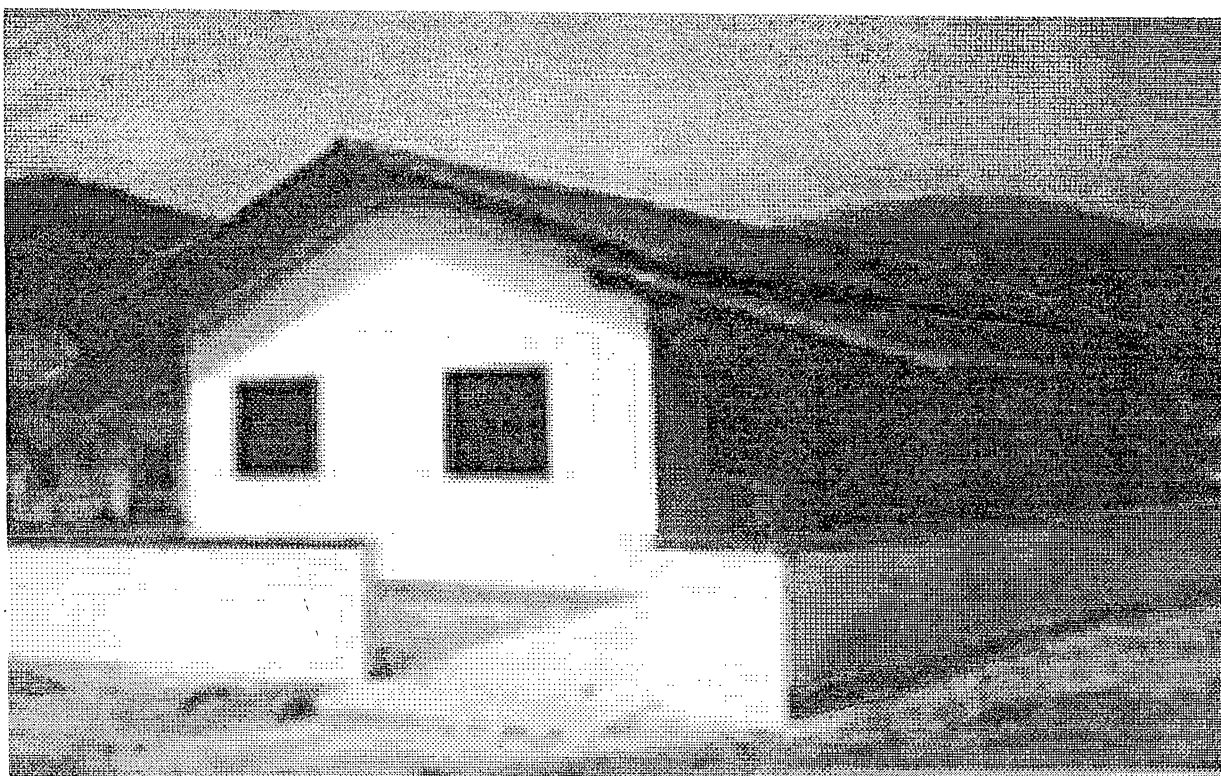


Detalhe da área 02.



ANEXO 04

Imagem da frente de um lote urbano obtido a partir da filmagem digital.



ANEXO 05

Mapas obtidos pelo processo de monorestituição digital associado a utilização de símbolo cartográfico para as edificações.

ANEXO 06

Bases cartográficas oriundas da restituição convencional.

Área 01:



Área 02:

89

